



Д.В. Демидов
О.В. Алексеева

ОСНОВЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ АВТОТРАНСПОРТНЫХ СИСТЕМ ДОСТАВКИ ГРУЗОВ

Екатеринбург
2018

МИНОБРНАУКИ РОССИИ

ФГБОУ ВО «УРАЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ЛЕСОТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Кафедра автомобильного транспорта

Д.В. Демидов
О.В. Алексеева

ОСНОВЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ АВТОТРАНСПОРТНЫХ СИСТЕМ ДОСТАВКИ ГРУЗОВ

Учебно-методическое пособие
для выполнения курсовой работы, проведения занятий семинарского типа,
организации самостоятельной работы обучающихся всех форм обучения,
подготовки выпускной квалификационной работы по направлениям
подготовки 23.03.01 «Технология транспортных процессов»
(дисциплины «Основы проектирования автотранспортных систем
доставки грузов» и «Транспортно-технологические схемы перевозок
отдельных грузов») и 23.04.01 «Технология транспортных процессов»
(дисциплина «Решение транспортных задач
с учетом экономических показателей»)

Екатеринбург
2018

Печатается по рекомендации методической комиссии ИАТТС.
Протокол № 3 от 11 января 2018 г.

Рецензент – Б.А. Сидоров, канд. техн. наук, доцент кафедры автомобильного транспорта.

Редактор Н.В. Рощина
Оператор компьютерной верстки Е.А. Газеева

Подписано в печать 10.12.18		Поз. 10
Плоская печать	Формат 60×84 1/16	Тираж 10 экз.
Заказ №	Печ. л. 2,79	Цена руб. коп.

Редакционно-издательский отдел УГЛТУ
Отдел оперативной полиграфии УГЛТУ

«...Потеря времени отличается от потери материала в том отношении, что его нельзя вернуть. Потеря времени совершается легче всего и возмещается труднее всего ...»

(Генри Форд. «История моего успеха» [21, с. 315])

«...Быстрота перевозки сама по себе является важным фактором, значительность которого зависит от ценности перевозимых товаров ...»

(Генри Форд. «История моего успеха» [21, с. 317])

ВВЕДЕНИЕ

Учебно-методическое пособие предназначено для выполнения курсовой работы, проведения занятий семинарского типа, организации самостоятельной работы обучающихся всех форм обучения, подготовки выпускной квалификационной работы по направлениям подготовки 23.03.01 «Технология транспортных процессов» (дисциплины «Основы проектирования автотранспортных систем доставки грузов» и «Транспортно-технологические схемы перевозок отдельных грузов») и 23.04.01 «Технология транспортных процессов» (дисциплина «Решение транспортных задач с учетом экономических показателей»).

Учебно-методическое пособие составлено на основе:

– Федеральных государственных образовательных стандартов высшего образования по направлениям подготовки 23.03.01 «Технология транспортных процессов» (уровень бакалавриата) и 23.04.01 «Технология транспортных процессов»;

– рабочих программ дисциплин «Основы проектирования автотранспортных систем доставки грузов», «Транспортно-технологические схемы перевозок отдельных грузов» и «Решение транспортных задач с учетом экономических показателей»;

– стандартов УГЛТУ СТБ 1.3.0.0-00-18 «Учебное издание. Основные положения» и СТБ 1.3.1.0-00-2018 «Учебные издания. Учебно-методическое пособие. Основные положения».

Необходимость издания данного учебно-методического пособия вызвана отсутствием систематически подобранного издания по дисциплине и требованием организации самостоятельной работы обучающихся.

Процесс доставки грузов автомобильным транспортом является иерархической (многоуровневой) системой не только с точки зрения управления и экономики протекающих процессов, но и по своему принципиальному функционированию, то есть иерархичность проявляется в различных аспектах.

Эффективность перевозки грузов автомобильным транспортом обусловлена рациональным выбором транспортно-технологической схемы доставки грузов, что характеризует уровень как затрат, так и срока доставки грузов. Указанные критерии оценивают варианты транспортного обеспечения.

В учебно-методическом пособии в теоретической части приведено: понятие системы, понятие об автотранспортной системе доставки грузов, классификация автотранспортных систем доставки грузов и особенности их проектирования, методика разработки маршрутов и составления графиков доставки грузов, особенности взаимодействия транспортных средств и оборудования в погрузочно-разгрузочных пунктах.

Также в пособии приведены рекомендации по организации занятий семинарского типа и самостоятельной работы обучающихся.

Перечень основных терминов и определений приведен в прил. 1.

1. ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

1.1. Автотранспортные системы доставки грузов

1.1.1. Понятие системы

В условиях усложняющихся взаимосвязей между отдельными отраслями производства и внутри каждой из них огромное значение приобретают проблемы совершенствования организации и управления определенными системами.

Системный подход – направление методологии специального научного познания и социальной практики, в основе которого лежит исследование объектов как систем, которые представляются как множество взаимосвязанных элементов. Данное понятие согласуется с положениями общей теории систем, основная задача которой состоит в том, чтобы, опираясь на понимание системы как взаимосвязанного комплекса элементов, найти законы, объясняющие поведение различных сложных систем.

Системы могут быть разделены на классы по различным признакам и в зависимости от решаемой задачи можно выбирать различные признаки классификации. В 60-70-х годах прошлого века Г.Н. Поваров предложил различать типы систем по числу элементов и характеру их связей [16].

Согласно его подходу, малые (простые) системы включают порядка 10³ элементов, большие саморегулирующиеся – до 10⁶ элементов, саморазвивающиеся – 10¹⁰–10¹⁴ элементов. Связи и отношения элементов, присущие каждому из типов систем, характеризуются в категориях части и целого, вещи и процесса, причинности, случайности, возможности, необходимости, пространства и времени.

Для описания простых систем достаточно полагать, что суммарные свойства их частей исчерпывающе определяют свойства целого.

Часть внутри целого и вне целого обладает одними и теми же свойствами, связи между элементами подчиняются причинности, пространство и время предстают как нечто внешнее по отношению к таким системам, состояния их движения никак не влияют на характеристики пространства и времени.

Качественные изменения присущи многим показателям, поэтому на каждом уровне возникают новые свойства, которые не могут быть выведены как сумма свойств элементов [18].

При этом, как правило, каждый последующий класс включает в себя предыдущий и при этом указывается, что однотипные свойства проявляются у более сложных систем в качественно новой форме. Это в полной мере относится и к системам на автомобильном транспорте.

1.1.2. Понятие об автотранспортной системе доставки грузов

Автомобильный транспорт, обслуживающий производство и потребление, представляет совокупность большого количества автотранспортных систем различного вида, которые расположены в определенном порядке (иерархии) по отношению друг к другу.

В общем случае под *системой на автомобильном транспорте (автотранспортной системой доставки груза)* понимается совокупность функционально связанных между собой реальных объектов, включая связи между ними, которые используются на определенной территории для выполнения перевозок груза. В дальнейшем рассматриваются именно реальные системы, где элементы функционально связаны друг с другом.

Рассматривая системы доставки грузов с позиций организации и управления автомобильными перевозками, можно заметить, что любая транспортная система, каких бы она не была размеров, представляет собой совокупность средств и путей сообщения – транспортной сети, по которой автомобили осуществляют перевозку грузов по маршруту определенного типа, а также погрузочных и разгрузочных пунктов, подразделений анализа, планирования и управления процессами переработки и доставки груза.

1.1.3. Классификация автотранспортных систем доставки грузов и особенности их проектирования

Необходимость классификации автотранспортных систем обусловлена тем, чтобы ограничить выбор подходов к отображению систем, выработать язык описания, наиболее подходящий для рассматриваемых систем.

В.И. Николиным была предложена классификация автотранспортных систем, поэтому остановимся на основных ее положениях [11, 12, 14, 17].

В качестве признаков разработанной в СибАДИ классификации систем были приняты мощность осваиваемых грузовых потоков, закономерности влияния технико-эксплуатационных показателей на эффективность системы и работы автотранспортных средств, возможности применения различного математического аппарата для описания систем и решения задач управления процессами.

Поэтому в соответствии с их иерархическим расположением все автотранспортные системы можно разделить на микросистемы, особо малые системы, малые системы, средние системы, большие системы, особо большие системы, суперсистемы (табл. 1).

Для **особо малых систем** были разработаны аналитические модели, достаточно хорошо описывающие транспортный процесс. Применение его для других систем может приводить к значительным ошибкам. Это связано с тем, что математический аппарат не учитывает изменения продолжительности времени пребывания в наряде у каждого последовательно выходящего на линию автомобиля, а следовательно, и числа ездов, которые будут переменной величиной.

Кроме того, здесь время пребывания транспортного средства в наряде отождествляется с временем функционирования системы, что имеет принципиальное различие в других системах. Однако при этом существует либо обратная загрузка подвижного состава в пункте назначения (маятниковый маршрут), либо доставка груза (грузов) от нескольких поставщиков нескольким потребителям по замкнутому контуру (кольцевой маршрут).

Приведем пояснения для систем низшего уровня.

Малые системы обусловлены более мощным (по сравнению с микро- и особо малой системами) суточным грузопотоком. Схемы транспортирования грузов в таких системах могут соответствовать любым конфигурациям (маятниковые маршруты всех типов, кольцевые), однако при этом объемы поставки материалов, изделий, товаров и т.д. в пункты назначения довольно значительны, что обусловлено соответствующей потребностью в материальных ресурсах для выполнения производственных или других процессов.

Малые системы доставки грузов подразделяются на ненасыщенные, насыщенные и перенасыщенные.

Под **насыщенной системой** понимается такая, в которой пропускная способность погрузочных и разгрузочных пунктов обеспечивается определенной группой транспортных средств, и добавление в такую систему еще одного автомобиля (автопоезда) приводит к образованию очередей подвижного состава на обслуживание в одном из грузоперерабатывающих пунктов.

Для такой системы момент насыщения определяется из условия равенства интервала движения транспортных средств I ритму работы системы R .

Таблица 1

Характеристика автотранспортных систем доставки груза
и особенности их проектирования

Тип автотранспортных систем	Описание автотранспортных систем	Объекты систем	Особенности автотранспортных систем	Оценка методологических разработок в отношении системы
1	2	3	4	5
1. Системы низшего уровня (осуществляется доставка груза; формируются затраты по составляющим их статьям; транспортно-технологический процесс нуждается в адекватном управлении исполнением его операций)				
Микро-системы	Процесс перевозки груза на маятниковых маршрутах с обратным порожним пробегом	Одиночное автотранспортное средство	Понятие ездки и оборота совпадают, поскольку за один оборот совершается одна груженная ездка	1. Понятие производительности системы совпадает с понятием производительности подвижного состава. 2. Представление о том, что транспортный процесс является монотонно изменяющимся, не соответствует реальной эксплуатации подвижного состава
Особо малые системы	Процесс перевозки грузов по кольцевым и маятниковым маршрутам, на которых в обратном направлении перевозится груз, с частичной или полной загрузкой автомобиля	Одиночное автотранспортное средство	Различают виды маршрутов: маятниковый маршрут с груженым пробегом в обоих направлениях; маятниковый маршрут с обратным частично груженым пробегом; маятниковый маршрут, когда в обратном направлении перевозится меньшее количество груза	1. Понятие производительности системы совпадает с понятием производительности подвижного состава. 2. Транспортный процесс считается непрерывным, на самом деле является дискретным. Поэтому применение моделей в практике планирования и анализа изменения эффективности подвижного состава – одна из причин несоответствия расчетных планов фактической работе

Продолжение табл. 1

1	2	3	4	5
Малые системы	Процесс перевозки грузов требуемого объема по маятниковому маршруту любого типа либо кольцевому маршруту	Несколько единиц или десятков транспортных средств	На каждом маршруте транспортные средства выполняют работу независимо от работы на других маршрутах. Характерна необходимость учета последовательности выхода транспортных средств на линию, поэтому требуется составление графиков выпуска и прибытия под погрузку-разгрузку с целью исключения образования очереди	<p>1. Расчеты работы подвижного состава с учетом пропускной способности пунктов погрузки-разгрузки и согласованного времени движения подвижного состава.</p> <p>2. Производительность автомобилей может возрастать, а производительность системы в целом – нет, а отсюда закономерности, свойственные транспортным средствам, подчас не вызывают эквивалентной реакции системы. Для описания функционирования малой системы невозможно использовать модели, созданные для более простых систем</p>
Средние системы	Совокупность нескольких малых систем различного вида, деятельность которых подчинена общей цели, а технологический процесс доставки грузов подчиняет единому ритму элементы всех систем	Несколько единиц или десятков транспортных средств	Перевозка грузов осуществляется по радиальному маршруту, ветви которого по конфигурации соответствуют маятниковым и кольцевым маршрутам	<p>1. Элементы системы могут быть многофазными и многоканальными системами массового обслуживания. Модели таких систем должны разрабатываться на основе теории вероятностей, в частности одного из ее разделов – теории массового обслуживания.</p> <p>2. При решении отдельных задач рассматриваемых систем успешно применяется метод статистического моделирования, но каждый раз приходится разрабатывать частную модель процесса обслуживания транспортных средств в системе грузового пункта, алгоритм модели и программу для ЭВМ</p>

Окончание табл. 1

1	2	3	4	5
2. Системы высшего порядка (системы не только транспортные, но и социально-экономические)				
Большие системы	Процесс перевозки грузов подвижным составом одного автотранспортного предприятия или объединения, обслуживающего значительное число маршрутов	Системы всех видов, начиная с микросистем	1. Системы, имеющие общую материально-техническую базу, единое руководство и управление всеми подразделениями. 2. Основная производственная деятельность — выполнять перевозки в соответствии с заключенными договорами	Применяются модели и методы для описания и моделирования процессов, принятия решений, прогнозирования и планирования
Особо большие системы	Процесс перевозки грузов несколькими перевозчиками (холдинги, концерны), объединенных условиями смешанной перевозки	Несколько больших систем	Организация смешанных перевозок грузов (различными видами транспорта) в условиях внутреннего сообщения (на территории одного государства)	
Супер-системы	Процесс перевозки грузов несколькими перевозчиками различных государств	Несколько особо больших систем	Организация смешанных перевозок грузов (различными видами транспорта) в международном сообщении	

Ненасыщенной системой считается такая, где возможности погрузочных и разгрузочных пунктов и потребность системы в объемах перевозок превышают суммарную выработку транспортных средств, выполняющих доставку грузов в системе в данный момент времени. И если в такую систему добавить еще один автомобиль (автопоезд), то это не вызовет образования очереди транспортных средств. Для нее характерно свойство $I > R$, в связи с чем наблюдается неизбежный простой оборудования или рабочей силы грузоперерабатывающих пунктов.

В *перенасыщенной системе* соблюдается неравенство $I < R$, т.е. каждая единица подвижного состава за оборот на маршруте будет простаивать в ожидании погрузки (разгрузки) в пункте с максимальным ритмом определенное время.

Средние системы – процесс перевозки грузов требуемого объема по транспортной сети – совокупности одного центрального и множества периферийных пунктов, соединенных между собой, на которой функционируют несколько единиц (десятков) автомобилей.

Средние системы доставки грузов (ССДГ), исходя из типов ветвей, образующих радиальный маршрут, подразделяются на простые и комбинированные.

В свою очередь простые и комбинированные средние транспортные системы по функциональному назначению подразделяются на три типа:

- 1-й тип – системы, осуществляющие вывоз груза из центрального пункта (звена) системы на периферию;
- 2-й тип – системы, осуществляющие завоз груза с периферии в центральный пункт;
- 3-й тип – системы, осуществляющие одновременный завоз и вывоз груза.

Простая ССДГ представляет собой радиальный маршрут, ветви которого соответствуют по конфигурации маятниковым маршрутам различного вида.

Простую ССДГ 1-го типа можно охарактеризовать как систему, каждая ветвь которой по конфигурации соответствует маятниковому маршруту с обратным негруженым пробегом.

Аналогичным образом можно охарактеризовать простую ССДГ 2-го типа, осуществляющую завоз грузов с периферии в центр.

Простую ССДГ 3-го типа, осуществляющую как завоз грузов в центр, так и вывоз из него, можно охарактеризовать как систему, каждая ветвь которой по конфигурации соответствует маятниковому маршруту различного вида:

- а) в обратном направлении груз перевозится не по всей длине ветви;
- б) в обратном направлении груз перевозится по всей длине ветви;
- в) маршруты типа (а) и (б), но в обратном направлении перевозится груз меньшего объема;
- г) с обратным негруженым пробегом.

Комбинированная ССДГ представляет собой радиальный маршрут, ветви которого соответствуют по конфигурации маятниковому и кольцевому маршрутам. Другими словами, ветви перевозок данного вида систем представляют собой совокупность (комбинацию) ветвей простой ССДГ и ветви (ветвей), по конфигурации соответствующей кольцевому маршруту.

Средние системы также могут быть насыщенными и ненасыщенными.

Насыщенной является система, в которой интервал движения автомобилей соответствует ритму выполнения погрузочных или разгрузочных работ в ведущем звене. **Ненасыщенной** считается система, в которой не возникают простои на постах ведущего звена. В такую систему можно дополнительно вводить автомобили, это не приведет к образованию очереди на обслуживание. Насыщение системы может произойти по двум факторам: по занятости постов погрузки-разгрузки по времени или грузу или по соответствию интервалов движения автомобилей по каждому маршруту и ритму работы системы.

1.2. Методика разработки маршрутов и составления графиков доставки грузов

1.2.1. Планирование перевозочного процесса

Маршрутизация грузопотоков в транспортной логистике позволяет определять объемы перевозок грузов со снабженческо-сбытовых предприятий, количество автомобилей, необходимых для осуществления перевозок, способствует эффективному использованию подвижного состава.

В случае осуществления перевозок по часовым графикам маршрутизация дает возможность контролировать сроки доставки, осуществлять доставку точно в срок, снижать время простоя транспортных средств и уменьшать расходы на хранение запасов на складе.

При планировании перевозок и составлении маршрутов широко используются математические методы и информационные технологии. Сегодня на рынке можно встретить множество различных программ, облегчающих планирование маршрутов, но все они действуют на основе существующих математических методов, следовательно, именно их развитию необходимо уделять приоритетное внимание.

При планировании грузопотоков на сегодняшний день необходимо учитывать множество различных случайных факторов. К примеру, для больших городов и мегаполисов существенным является текущее состояние транспортных потоков и зависящие от них количество и протяженность транспортных заторов – тоже случайных явлений.

Также существенным является тот факт, что значительную часть грузооборота составляют перевозки мелкопартионных грузов, перевозимых либо по маятниковым, либо по развозочным маршрутам.

Таким образом, можно рационально выделить 3 основных схемы перевозочного процесса (табл. 2 [9]). Тогда планирование перевозочного процесса и составление маршрутов движения можно представить в виде алгоритма, состоящего из трех этапов (рис. 1 [9]).

Таблица 2

Схемы организации перевозочного процесса

Условное название схемы организации перевозочного процесса	Графическое представление схемы организации перевозочного процесса
«Один к одному»	
«Один ко многим»	
«Многие ко многим»	

Этап сбора и анализа данных является одним из наиболее важных, так как от качества проработки информации на данном этапе напрямую зависит качество выполнения последующих. Исходной информацией здесь являются параметры транспортной сети, по которой происходит доставка груза, и характеристики самого груза.

Для дальнейшего применения математических методов целесообразно разбить данный этап на несколько подпунктов:

- моделирование транспортной сети (представляет собой исходную транспортную сеть в виде графа);

- вычисление кратчайших расстояний, которые выступают основными исходными данными при оплате клиентами транспортных услуг, для определения грузооборота, учета расхода топлива, расчета заработной платы водителей и т.п.

Подобный подход дает возможность в дальнейшем поставить транспортную задачу для нахождения оптимального плана поставок либо другую задачу маршрутизации.

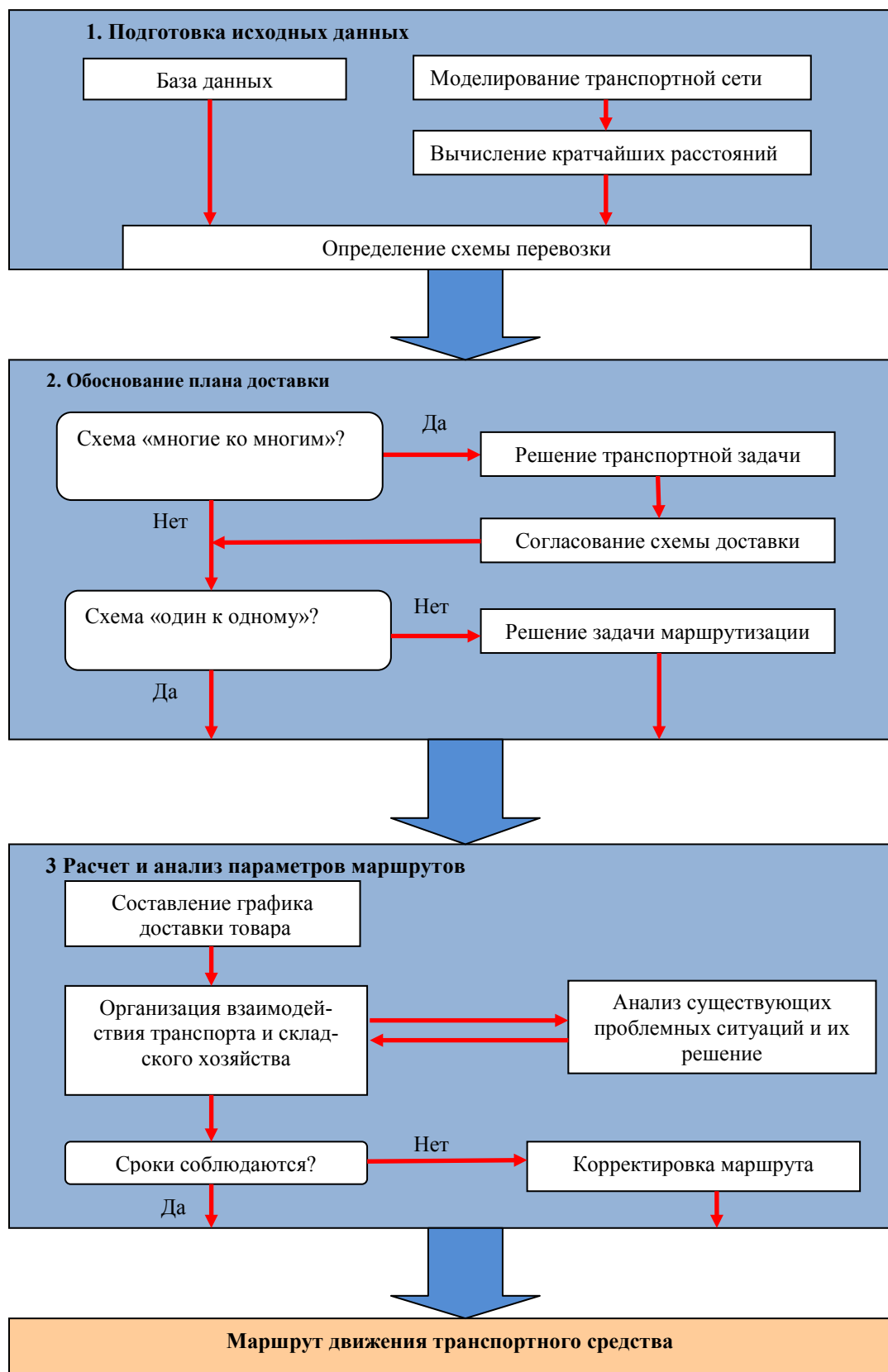


Рис. 1. Общий алгоритм планирования грузовых автомобильных перевозок

1.2.2. Моделирование транспортных сетей

Множество всех дорог территории (страны, области, города, района в городе) составляют дорожную сеть, но понятие транспортной сети несколько уже. В ней учитываются только те улицы (дороги), которые пригодны для движения по ширине проезжей части и качеству покрытия.

Модель такой сети может быть представлена в виде графа (рис. 2).

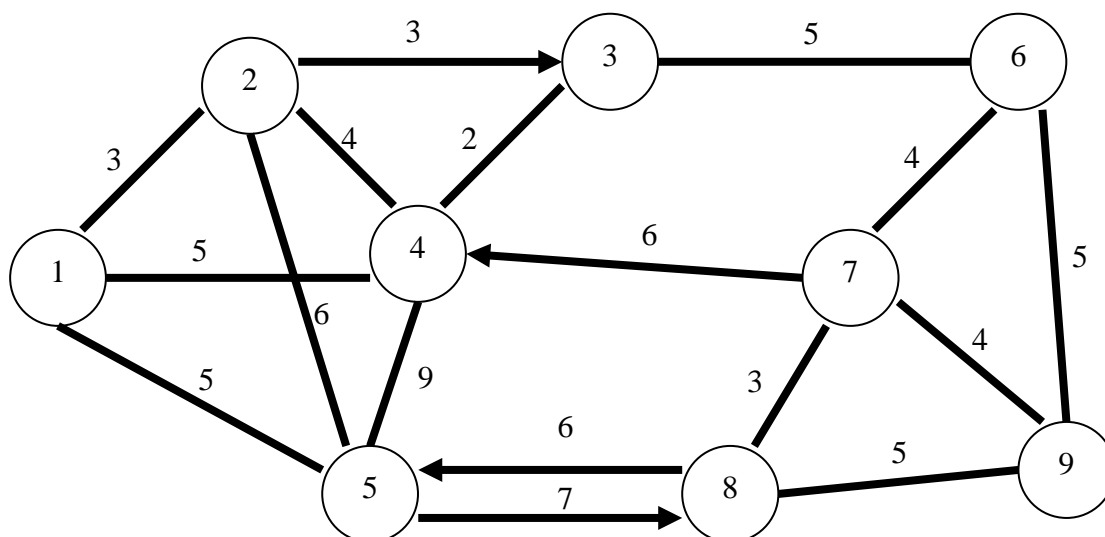


Рис. 2. Модель транспортной сети:
цифры в кружочках – номера вершин графа; цифры на ребрах (дугах) – расстояния между вершинами графа

Граф – это фигура, состоящая из точек (вершин) и отрезков (ребер), их соединяющих. Ребра характеризуются числами, которые могут иметь различный физический смысл. Как видно из рис. 2, часть ребер ориентирована по направлению. Такие ребра называются *дугами*. Фактически всякое неориентированное ребро включает в себя две равноценные, но противоположно направленные дуги. В зависимости от того, все или часть ребер имеют направление, граф является *ориентированным* или *смешанным*.

Граф, каждая вершина которого может быть соединена некоторой последовательностью ребер с любой другой его вершиной, называется *связным графом*. Из этого определения следует, что каждая вершина связного графа должна иметь как минимум одну входящую и одну выходящую дугу.

Граф, моделирующий транспортную сеть, обязательно должен быть связным, чтобы всегда был путь из любой вершины в любую другую. Числа, характеризующие ребра такого графа, выражают протяженность пути, время или стоимость проезда.

Граф чаще всего является смешанным, так как в городских условиях на некоторых улицах установлено одностороннее движение.

Для моделирования транспортной сети прежде всего необходим картографический материал. Он должен быть достаточно подробным, отражать современное состояние города (района) и по возможности перспективы его развития. Этим требованиям отвечают карты крупного масштаба, где нанесены все существующие улицы (дороги) и проезды. Такие карты позволяют с большой точностью делать замеры расстояний между смежными вершинами.

Картографический материал необходимо дополнить сведениями из коммунальных и дорожных организаций в виде перечня улиц (населенных пунктов) с характеристикой их проезжей части.

Для моделирования, помимо картографического материала, необходимо иметь все сведения по организации уличного движения в городе. Сюда входят схемы организации движения на перекрестках, площадях и транспортных развязках, а также различные ограничения, действующие на улицах, проездах и дорожно-мостовых сооружениях в соответствии с установленными там дорожными знаками.

К таким ограничениям относят:

- введение одностороннего движения;
- запрещение проезда грузовых автомобилей;
- запрещение некоторых направлений движения;
- ограничения по общему весу, нагрузке на ось или габаритным размерам транспортных средств.

Помимо этого, необходимо располагать сведениями о размещении основных грузообразующих и грузопоглощающих объектов, обслуживаемых автомобильным транспортом.

Имея эти данные, моделирование транспортной сети начинают с размещения вершин.

Вершины присваивают точкам города, соответствующим:

- основным грузообразующим и грузопоглощающим пунктам (промышленным предприятиям, портам, железнодорожным станциям и т.д.);
- центрам крупных жилых кварталов (как существующих, так и строящихся);
- центрам небольших обособленных населенных пунктов, входящих в границы города, пересечениям улиц.

После размещения вершин некоторые из них связывают ребрами (дугами). При этом учитывают лишь улицы и проезды, имеющие усовершенствованное покрытие. Если, например, две точки города связаны несколькими параллельными проездами, то в модели сети их заменяют одним ребром. Не следует вводить в модель дублирующие связи, не дающие сокращения расстояния по сравнению с другими связями.

Отдельно следует рассмотреть моделирование транспортной сети для современных городских условий с плотными транспортными потоками (рис. 3).

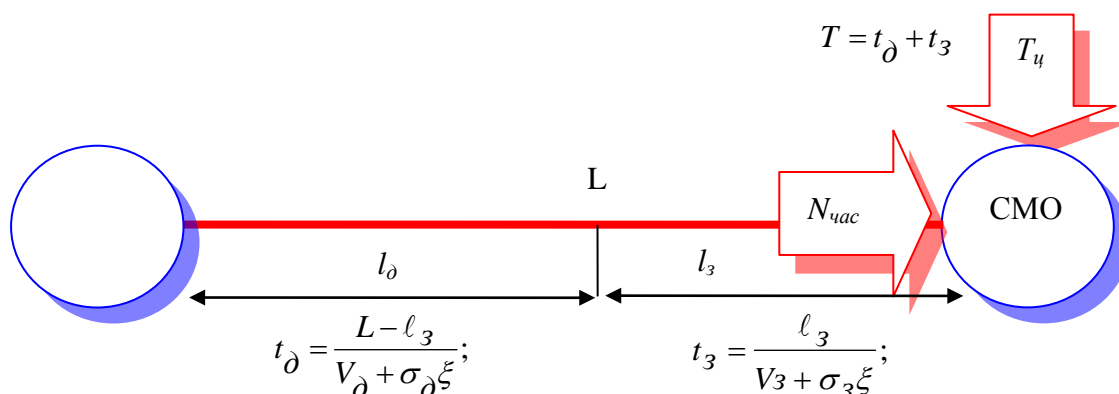


Рис. 3. Схема для моделирования времени на дуге

Существующий участок улично-дорожной сети мы можем разбить на две части по условиям движения:

- l_0 – участок свободного движения транспортного средства;
- l_3 – очередь перед перекрестком.

Длина затора определяется исходя из существующей часовой интенсивности движения ($N_{\text{час}}$), в нашем примере, времени цикла светофора (T_u).

В общем случае существующий перекресток независимо от его вида мы можем представить в виде системы массового обслуживания (СМО) и тем самым определить длину затора.

Тогда длина свободного движения определится из разности:

$$l_0 = L - l_3 \quad l_{\text{Д}} = L - l_{\text{З}}, \quad (1)$$

где L – общая длина дуги.

Логистический подход требует учета всех случайных составляющих, поэтому для определения времени в заторе t_3 и времени движения t_0 производим моделирование скорости движения транспортного средства. В итоге время на дуге определяется с заданной вероятностью, что позволяет точнее оценить риск задержки транспортного средства.

Важно отметить, что ситуация в городе меняется с каждым часом, и интенсивность входящего потока по каждой дуге точно также будет различной. Это обуславливает необходимость проводить моделирование для каждого конкретного часа.

Конечным итогом подобного моделирования являются карты транспортной доступности, на которых отмечено время и вероятность добраться до указанной точки от исходной (рис. 4).

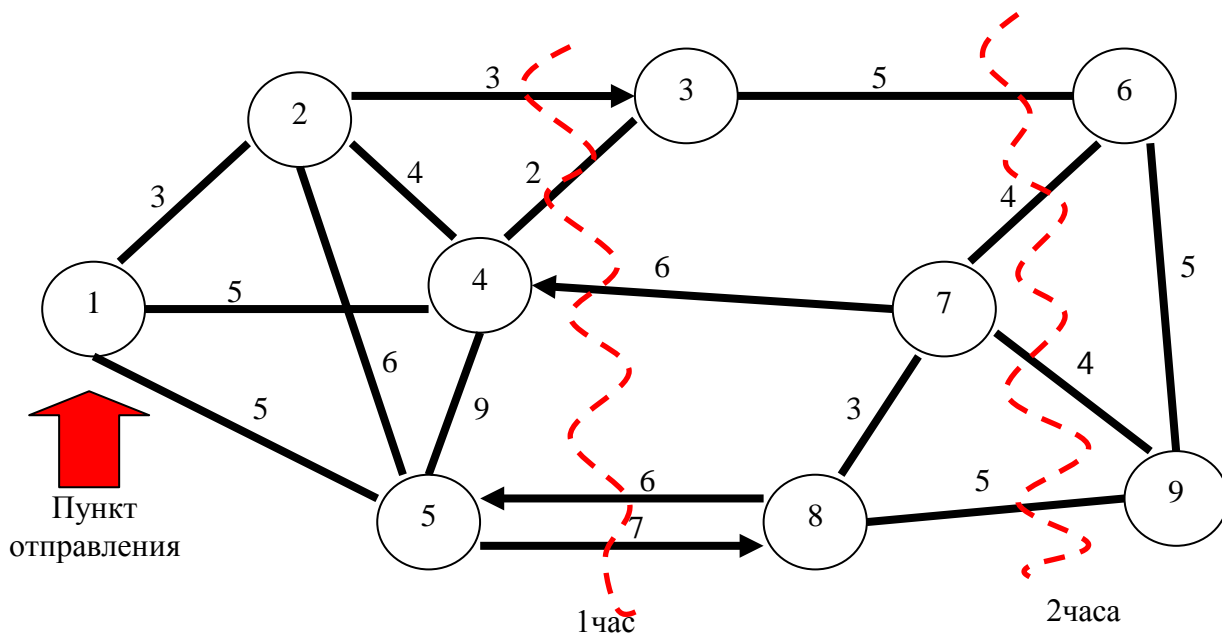


Рис. 4. Вариант карты транспортной доступности

В условиях крупного города при оперативном планировании перевозок необходимо быстро определять расстояния между большим числом поставщиков, потребителей и автохозяйств. Если составить таблицы со всеми расстояниями, то они окажутся столь большими, что для ручных расчетов пользоваться ими практически будет невозможно. Если же вести расчеты на ЭВМ, то для хранения таблиц потребуется слишком много памяти. Поэтому иногда для сокращения размеров таблиц карту города разбивают на микрорайоны.

При нанесении на карту микрорайонов следует придерживаться следующих правил:

- по улицам микрорайона подвижной состав должен иметь возможность беспрепятственного проезда;
- если в пределах микрорайона имеются естественные преграды, не дающие возможности проезда в любую часть микрорайона без выезда с его территории, то такие преграды должны служить границами микрорайонов;
- площадь микрорайона в зависимости от конкретных условий должна быть 1–4 км².

После составления карты микрорайонов определяются кратчайшие расстояния между центрами микрорайонов. За условный центр микрорайона принимается либо место расположения крупного поставщика или получателя, либо географический центр микрорайона. Построив для микрорайонов таблицу кратчайших расстояний, легко определить расстояние между любыми точками города. Для этого только нужно знать, в какие микрорайоны они входят.

1.2.3. Вычисление кратчайших расстояний

Пусть задана некоторая сеть, каждой ориентированной дуге которой соответствует определенное расстояние. Необходимо найти кратчайший путь от начальной вершины в конечную вершину v_t . Предполагается, что граф является связным, т.е. вершина v_t потенциально достижима из v_s .

Известна величина c_{ij} , которая определяет расстояние от i -го узла сети до ее j -го узла. Величина c_{ij} может измеряться в единицах, отличных от единиц длины. Так, например, c_{ij} может представлять собой стоимость проезда от i -го до j -го узла сети. Тогда задача будет заключаться в отыскании пути минимальной стоимости.

Величина c_{ij} может также определять время переезда от i -го до j -го узла сети. При этом будет необходимо найти путь с минимальной продолжительностью переезда.

Существуют сети, содержащие циклы, каждый из которых представляет собой замкнутый путь (путь, исходящий из некоторого узла сети и возвращающийся в него же). Как правило, значения c_{ij} положительны и общая длина цикла является положительной. Следовательно, решение задачи выбора кратчайшего пути не может содержать циклы.

Введем в рассмотрение следующие булевы переменные x_{ij} , которые интерпретируются следующим образом. Переменная $x_{ij} = 1$, если дуга входит в искомый маршрут минимальной длины, и $x_{ij} = 0$ в противном случае, т.е. если дуга не входит в оптимальный маршрут.

Тогда в общем случае математическая постановка задачи о минимальном пути в графе может быть сформулирована следующим образом:

$$\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n c_{ij} x_{ij} \rightarrow \min, \quad (2)$$

где множество альтернатив формируется следующей системой ограничений типа неравенств:

$$\begin{cases} \sum_{j=1}^n x_{sj} - \sum_{i=1}^n x_{ij} = 1 \\ \sum_{j=1}^n x_{tj} - \sum_{i=1}^n x_{it} = -1 \\ \sum_{j=1}^n x_{ij} - \sum_{j=1}^n x_{ji} = 0 (\forall i \in \{1, 2, \dots, n\}, i \neq s, i \neq t) \\ x_{ij} \in \{0, 1\} (\forall i, j \in \{1, 2, \dots, n\}). \end{cases} \quad (3)$$

При этом первое ограничение требует выполнения следующего условия – искомый путь должен начинаться в вершине v_s .

Второе ограничение требует выполнения следующего условия – искомый путь должен заканчиваться в вершине v_t . Третье ограничение гарантирует связанность минимального пути, т.е. искомый путь должен проходить через промежуточные вершины графа. Четвертое ограничение требует, чтобы переменные принимали только булевы значения.

Для решения задачи о нахождении кратчайшего пути наиболее рациональным является использование алгоритма пометок Дейкстры, который имеет итеративный характер и позволяет найти все минимальные пути из начальной вершины во все остальные вершины графа.

Сущность алгоритма заключается в построении на каждой итерации растущего ориентированного дерева минимальных путей из начальной вершины во все оставшиеся, включая и конечную вершину, в которую необходимо попасть при планировании перемещения по исходному графу.

Алгоритм основывается на приписывании вершинам временных пометок, причём пометка вершины даёт верхнюю границу длины пути от s к этой вершине. Эти пометки (их величины) постепенно уменьшаются с помощью некоторой итерационной процедуры, и на каждом шаге итерации точно одна из временных пометок становится постоянной (т.е. эта пометка уже не является верхней границей, а даёт точную длину кратчайшего пути от s к рассматриваемой вершине t).

Опишем подробнее этот метод [8–10].

Пусть $l(x_i)$ – пометка вершины x_i и все $c_{i,j} \geq 0$.

Шаг 1. Положить $l(s) = 0$ и считать эту пометку постоянной. Положить $l(x_i) = \infty$ для всех $x_i \neq s$ и считать эти пометки временными. Положить $p = s$.

Обновление пометок.

Шаг 2. Для всех x_i из окружения p , пометки которых временные, изменить пометки в соответствии со следующим выражением:

$$l(x_i) = \min(l(x_i), l(p) + c(p, x_i)). \quad (4)$$

Превращение пометки в постоянную.

Шаг 3. Среди всех вершин с временными пометками найти такую, для которой

$$l(x_i^*) = \min(l(x_i)). \quad (5)$$

Шаг 4. Считать пометку вершины x_i^* постоянной и положить $p = x_i^*$.

Шаг 5. Необходимо проверить условие $p = t$, в случае утвердительного ответа алгоритм считается законченным, если нет, то возвращаемся к шагу 2.

В случае вычисления всех кратчайших расстояний из исходной вершины s алгоритм продолжается до тех пор, пока все вершины не станут помеченными.

Данный алгоритм дает возможность осуществлять поиск нескольких кратчайших путей, если таковые имеются, а также выстраивает дерево кратчайших путей из выбранной вершины.

Все данные сводим в табл. 3, в ней приняты следующие обозначения: c_{ij} – кратчайшее расстояние между пунктами i и j ; A_i – потребность i -го пункта в грузах; B_j – наличие груза в j -м пункте.

Таблица 3

Итоговая таблица этапа сбора и анализа данных

№ п/п	1	2	3	4	...	n	Потребность в грузе
1	∞	c_{12}	c_{13}	c_{14}	...	c_{1n}	A_1
2	c_{21}	∞	c_{23}	c_{24}	...	c_{2n}	A_2
3	c_{31}	c_{32}	∞	c_{34}	...	c_{3n}	A_3
4	c_{41}	c_{42}	c_{43}	∞	...	c_{4n}	A_4
...
n	c_{n1}	c_{n2}	c_{n3}	c_{n4}	...	∞	A_n
Наличие груза	B_1	B_2	B_3	B_4	...	B_n	—

1.2.4. Составление плана перевозок для выполнения заказов

План выполнения заказа формируется на основе данных, полученных и проанализированных ранее. Первоначально происходит определение схемы организации перевозок. Здесь важно отметить, что схема «многие ко многим» распространяется также и на одного поставщика, но с неоднородным парком автомобилей.

При условии постоянства грузопотоков удобно провести закрепление поставщиков за потребителями в схеме «многие ко многим» и транспортных средств за пунктами потребления в схеме «один ко многим».

Важно отметить, что изначально транспортная задача предназначена для минимизации транспортной работы, которая зависит от расстояния. Но в современных условиях для больших городов более уместным является использование критерия времени.

Маршрутизация по схеме «многие ко многим». В общем виде транспортная задача имеет следующую формулировку: в пунктах A_1, A_2, \dots, A_m производится некоторый однородный продукт, причем объем производства в пункте A_i составляет d_i единиц ($i = 1, 2, 3, \dots, m$). Указанный продукт потребляется в n пунктах B_1, B_2, \dots, B_n , а объем потребления в пункте B_j составляет b_j единиц ($j = 1, 2, \dots, n$).

Таким образом, имеет место следующая схема (рис. 5).

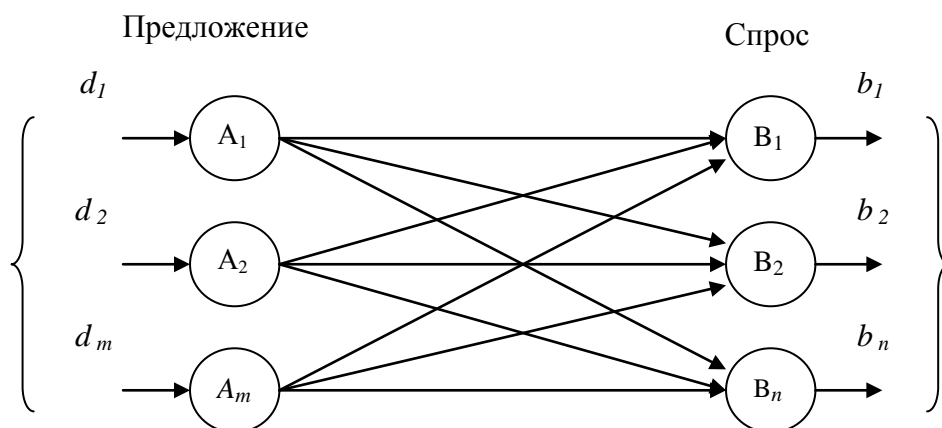


Рис. 5. Схема «многие ко многим»

Известны расстояния, по которым осуществляется перевозка единицы продукции из пункта A_i в пункт B_j и которые равны C_{ij} и приведены в матрице кратчайших расстояний \bar{C} .

$$\bar{C} = \begin{pmatrix} C_{11} & C_{12} & \dots & C_{1n} \\ C_{21} & C_{22} & \dots & C_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ C_{m1} & C_{m2} & \dots & C_{mn} \end{pmatrix} \quad (6)$$

В качестве величины C могут использоваться, как было указано выше, также тарифы на перевозку и время в пути.

Требуется составить такой план грузопотоков, при котором весь продукт вывозится из пунктов производства и удовлетворяются запросы всех потребителей, а общая величина транспортных издержек является минимальной.

В табличной форме транспортная задача представлена следующим образом (табл. 4).

Таблица 4

План перевозок груза

Поставщики	Потребители				Всего ресурсов
	1	2	3	4	
1	$x_{11}c_{11}$	$x_{12}c_{12}$	$x_{13}c_{13}$	$x_{14}c_{14}$	$\sum b_1$
2	$x_{21}c_{21}$	$x_{22}c_{22}$	$x_{23}c_{23}$	$x_{24}c_{24}$	$\sum b_2$
3	$x_{31}c_{31}$	$x_{32}c_{32}$	$x_{33}c_{33}$	$x_{34}c_{34}$	$\sum b_3$
Всего потребность	$\sum d_1$	$\sum d_2$	$\sum d_3$	$\sum d_4$	$\sum d_m = \sum b_n$

Для составления математической модели данной задачи грузопоток, перемещаемый из пункта A_i в пункт B_j , принимается равным x_{ij} .

Требуется определить величину грузопотока $x \geq 0$, перемещаемого от i -го пункта генерации до j -го пункта назначения так, чтобы:

– вывезти грузы всех поставщиков:

$$\sum_{i=1}^m x_{ij} = d_i; (i = 1, 2, \dots, m); \quad (7)$$

– удовлетворить всех потребителей:

$$\sum_{i=1}^n x_{ij} = b_j; (j = 1, 2, \dots, n); \quad (8)$$

– достичь минимальных суммарных издержек:

$$\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n c_{ij} x_{ij} \rightarrow \min, \quad (9)$$

где c_{ij} – расстояние перевозки груза из пункта i в пункт j .

Условие, необходимое и достаточное для разрешимости данной задачи, сводится к балансу:

$$\sum_{i=1}^m d_i = \sum_{j=1}^n b_j. \quad (10)$$

Транспортные задачи решаются специальными методами линейного программирования, так как их решение сводится к нахождению минимума линейной функции от неотрицательных переменных, удовлетворяющих системе линейных уравнений.

Следует заметить, что в задачах данного типа, если сумма потребностей всех потребителей равна сумме ресурсов всех поставщиков, т. е. выполняется условие (10), то такие транспортные задачи называются *закрытыми*. Если же нет равенства ресурсов и потребностей, модель называется *открытой*. В такой модели ограничения выражаются неравенствами.

При этом возможны два случая:

– ресурсы превышают потребность, тогда задача состоит в том, чтобы определить, у кого из поставщиков и какое количество продукции следует оставить с точки зрения минимизации транспортных расходов;

– ресурсы меньше потребности, тогда задача состоит в том, чтобы определить, кто из потребителей и какое количество продукции должен недополучить при минимизации транспортных расходов.

Для решения открытой транспортной задачи в таблицу вводят «фиктивного» потребителя, если ресурсы превышают потребность, или «фиктивного» поставщика, если потребность превышает ресурсы. Транспортные расходы по перевозке единицы продукции от «фиктивного» поставщика или к «фиктивному» потребителю принимаются заведомо большими, чтобы не затруднять поиски оптимального плана грузопотоков.

Представленная выше модель транспортной задачи применяется в транспортной логистике для планирования и управления прямыми грузопотоками. Однако на практике очень часто грузопотоки продвигаются по определенным маршрутам от источника генерации к конечному пункту через промежуточные субъекты. В этом случае в логистике используется транспортная задача в сетевой постановке.

Именно для решения этого типа задач и было предложено в предыдущем разделе моделировать транспортную сеть, т.е. все пункты, между которыми осуществляются перевозки, были пронумерованы в определенном порядке и соединены дугами или стрелками, указывающими направления перевозок. Затем устанавливают следующие количественные характеристики: d_i – интенсивность грузопотоков в i -м пункте (количество отгруженного и отправленного груза из i -го пункта).

Если $d_i > 0$, то груз из i -го пункта должен быть отправлен в количестве d_i . Если $d_i = 0$, то количество груза, прибывающего в i -й пункт, равно количеству убывающего груза, т.е. в этом случае i -й пункт является транзитным.

Если $d_i < 0$, то i -й пункт получает груз для потребления в количестве d_i (истинный пункт потребления).

При этом: d_{ij} – пропускная способность отрезка пути (i, j) ; c_{ij} – расстояние перевозки груза по отрезку пути (i, j) ; x_{ij} – количество груза, перевозимого от пункта i к пункту j .

Тогда транспортная задача в сетевой постановке будет иметь следующий вид: найти такие потоки $x_{ij} > 0$ ($i, j = 1, 2, \dots, n$), при которых достигается минимум затрат на перевозки:

$$\sum_{j=1}^n \sum_{i=1}^m c_{ij} x_{ij} \rightarrow \min. \quad (11)$$

При этом должны выполняться условия:

– по перевозкам

$$\sum_j x_{ij} - \sum_{j=1} x_{ji} = d_i, (i = 1, 2, \dots, n); \quad (12)$$

– по пропускным способностям

$$x_{ij} \leq d_{ij} (i, j = 1, 2, \dots, n). \quad (13)$$

В крупных системах при планировании грузопотоков приходится решать транспортные задачи большого размера. При этом возникают трудности в информационном обеспечении и непосредственно в проведении необходимых расчетов, поэтому чтобы уменьшить размерность задачи, осуществляют операцию агрегирования.

Агрегирование заключается в том, что все источники генерации материальных потоков и всех потребителей делят на группы. При этом каждая группа принимается за один источник генерации или за одного потребителя. В качестве агрегированного («сводного») пункта можно брать районный,

областной центры или условный, т. е. пункт на основе какого-либо критерия.

Введем обозначения:

i – номер источника генерации (или потребителя) грузопотоков;

x_i, y_i – коэффициент i -го источника генерации (или потребителя) грузопотоков;

b_i – количество груза, отправляемого i -м источником генерации (количество груза, полученного i -м потребителем);

n – число источников генерации (потребителей), входящих в агрегированный пункт;

x, y – координаты условного агрегированного пункта;

l_{ij} – расстояние между i -м источником генерации (или потребителями) грузопотоков, входящих в агрегированный пункт.

Тогда коэффициент условного агрегированного пункта вычисляют по формулам центра тяжести:

$$x = \frac{\sum_{i=1}^n b_i x_i}{\sum_{i=1}^n b_i}; \quad (14)$$

$$y = \frac{\sum_{i=1}^n b_i y_i}{\sum_{i=1}^n b_i}. \quad (15)$$

Если условный пункт агрегации находится далеко от любого из реальных источников генерации (потребителей) грузопотоков, то среди них (агрегированных) можно выбрать такой i_0 , для которого взвешенная сумма расстояний будет наименьшей, т.е.

$$\min_i \sum_{j=1}^n i_{ij} b_{ij} = \sum_{j=1}^n i_{i_0 j} b_j. \quad (16)$$

Реальный агрегированный пункт i_0 обладает тем свойством, что суммарная мощность грузопотоков в тонно-километрах от него ко всем остальным агрегированным пунктам будет наименьшей.

Маршрутизация по схеме «один ко многим». Для разработки маршрутов по схеме «один ко многим» используется метод Кларка-Райта [9, 10]. Суть метода заключается в том, чтобы, отталкиваясь от исходной схемы развозки, по шагам перейти к оптимальной схеме развозки с кольцевыми маршрутами. С этой целью вводится такое понятие, как километровый выигрыш.

Обратимся к рис. 6, на котором представлены две схемы развозки.

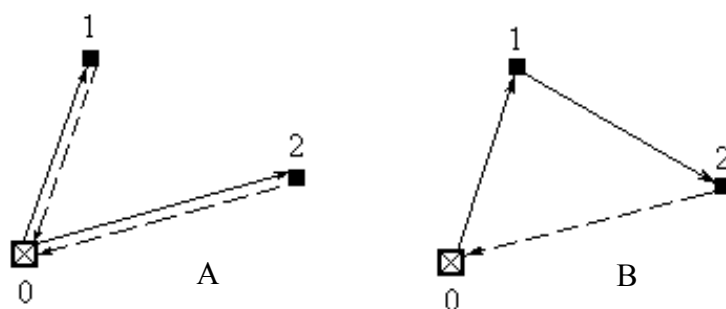


Рис. 6. Схемы развозки А и В

Схема развозки А обеспечивает доставку грузов в пункты 1 и 2 по маятниковым маршрутам.

В этом случае суммарный пробег автотранспорта равен:

$$l_{\partial\partial}^A = l_{01} + l_{10} + l_{02} + l_{20} = 2l_{01} + 2l_{02}. \quad (17)$$

Схема развозки В предполагает доставку грузов в пункты 1 и 2 по кольцевому маршруту.

Тогда пробег автотранспорта составляет:

$$l_{\partial\partial}^B = l_{01} + l_{12} + l_{02}. \quad (18)$$

Схема В по показателю пробега автотранспорта дает, как правило, лучший результат, чем схема А, поэтому при переходе от схемы А к схеме В получаем следующую экономию пробега:

$$s_{12} = l_{\partial\partial}^A - l_{\partial\partial}^B = l_{01} + l_{02} - l_{12}. \quad (19)$$

В общем случае мы имеем экономию пробега

$$s_{ij} = l_{0i} + l_{0j} - l_{ij}, \quad (20)$$

где s_{ij} – экономия пробега, получаемая при объединении пунктов i и j ;

l_{0i} , l_{0j} – расстояние между оптовой базой и пунктами i и j соответственно, км;

l_{ij} – расстояние между пунктами i и j , км.

На основании данных километровых выигрышей заполняется матрица выигрышей, аналогичная матрице кратчайших расстояний.

Приведем пошаговое описание алгоритма.

Шаг 1. На матрице километровых выигрышей находим ячейку (i^*, j^*) с максимальным километровым выигрышем S_{\max} :

$$S_{\max} = \max_{i,j} s(i, j) = s(i^*, j^*). \quad (21)$$

При этом должны соблюдаться следующие три условия:

- пункты i^* и j^* не входят в состав одного и того же маршрута;
- пункты i^* и j^* являются начальным и/или конечным пунктом тех маршрутов, в состав которых они входят;

– ячейка i^*, j^* не заблокирована (т.е. рассматривалась на предыдущих шагах алгоритма).

Если удалось найти такую ячейку, которая удовлетворяет трем указанным условиям, осуществляем переход к шагу 2. Если не удалось, переходим к шагу 6.

Шаг 2. Маршрут, в состав которого входит пункт i^* , обозначим как маршрут 1. Соответственно маршрут, в состав которого входит пункт j^* , обозначим как маршрут 2.

Введем следующие условные обозначения:

$N = \{1, 2, \dots, n\}$ – множество получателей;

$N_1 (N_1 \subset N)$ – подмножество пунктов, входящих в состав маршрута 1;

$N_2 (N_2 \subset N)$ – подмножество пунктов, входящих в состав маршрута 2.

Очевидно, что $i^* \in N_1, j^* \in N_2$ и $N_1 \cap N_2 = \emptyset$ (согласно шагу 1, условие 1).

Рассчитаем суммарный объем поставок по маршрутам 1 и 2:

$$q_1 = \sum_{k \in N_1} q_k \quad (22)$$

$$\text{и} \quad q_2 = \sum_{k \in N_2} q_k, \quad (23)$$

где q_k – объем спроса k -го пункта, шт.

Шаг 3. Проверим на выполнение следующее условие:

$$q_1 + q_2 \leq q, \quad (24)$$

где q – грузопместимость автомобиля, шт.

Если условие выполняется, то переходим к шагу 4, если нет – к шагу 5.

Шаг 4. Производим объединение маршрутов 1 и 2 в один общий кольцевой маршрут Х. Будем считать, что пункт i^* является конечным пунктом маршрута 1, а пункт j^* – начальным пунктом маршрута 2.

При объединении маршрутов 1 и 2 соблюдаем следующие условия:

– последовательность расположения пунктов на маршруте 1 от начала и до пункта i^* не меняется;

– пункт i^* связывается с пунктом j^* ;

– последовательность расположения пунктов на маршруте 2 от пункта j^* и до конца не меняется.

Шаг 5. Повторяем шаги 1–4 до тех пор, пока при очередном повторении не удастся найти S_{max} , удовлетворяющий трем условиям из шага 1.

Шаг 6. Рассчитываем суммарный пробег автотранспорта.

Описанный метод является приближенным, так как объединение двух маршрутов в один производится по максимальному значению «выгоды» на одном шаге без «заглядывания» вперед на несколько шагов.

При этом не гарантируется оптимум в распределении получателей по маршрутам, а также то, что внутри маршрута последовательность точек даст минимальный пробег автомобиля.

Поэтому после применения данного метода целесообразно для каждого полученного маршрута решить задачу рационального объезда точек с целью сокращения общего пробега. В дискретном программировании она называется задачей коммивояжера и формулируется следующим образом.

Пусть число пунктов равно n и C_{ij} – расстояние от пункта i до пункта j , $i, j = \overline{0, 1}$, где 0 соответствует базовому пункту. В каждом пункте с номером $\overline{1, n}$ автомобиль должен побывать ровно один раз, и после развозки всех грузов ему необходимо вернуться в базовый пункт.

Задача состоит в определении порядка посещения автомобилем пунктов с номерами $\overline{1, n}$ так, чтобы суммарное расстояние, проходимое автомобилем, было минимальным.

Для математической формулировки рассмотренной задачи вводятся переменные x_{ij} , которые могут принимать следующие значения:

$$x_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{если автомобиль из пункта с номером } i \text{ переезжает в пункт } j; \\ 0 & \text{в противном случае} \end{cases} \quad (25)$$

Следующая система соотношений образует математическую модель и отражает закономерность функционирования системы развозки грузов по n пунктам из базового пункта:

$$\sum_{i=1}^n x_{ij} = 1, j = \overline{1, n}, i \neq j; \quad (26)$$

$$\sum_{j=1}^n x_{ij} = 1, i = \overline{1, n}, j \neq i; \quad (27)$$

$$u_i - u_j + (n-1)x_{ij} \leq n-2, \quad (28)$$

где u_i и u_j – произвольные вещественные числа.

Условия (26, 28) исключают циклы (петли) на маршруте, поскольку приезд автомобиля в каждый пункт и выезд из каждого пункта происходят ровно один раз. Условие (27) не допускает расщепления замкнутого из $n + 1$ звеньев маршрута автомобиля на несколько замкнутых маршрутов меньшего числа звеньев.

В качестве целевой функции в рассмотренной задаче выступает длина маршрута автомобиля, которая подлежит минимизации:

$$\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n c_{ij} x_{ij} \rightarrow \min. \quad (29)$$

Маршрутизация по схеме «один к одному». Применимо к маятниковым маршрутам следует использовать задачу «увязки ездки», которая дает возможность повысить коэффициент использования пробега и, следовательно, снизить стоимость перевозки.

Рассматриваемая задача сводится к следующей задаче линейного программирования – минимизировать линейную функцию

$$L = \sum_{j=1}^n \left(l_n^{Bj} - l_{ABj} \right) X_j \quad (30)$$

при условиях

$$0 < X_j < Q_j \quad (31)$$

$$\text{и} \quad \sum_{j=1}^n X_j = N, \quad (32)$$

где L – порожний пробег, км;

l_n^{Bj} – расстояние от пункта B_j до АТП (второй нулевой пробег), км;

l_{AB_j} – расстояние от А до B_j (груженный пробег), км;

j – номер потребителя ($j = 1, 2, \dots, n$);

X_j – количество автомобилей, работающих на маршрутах с последним пунктом разгрузки B_j ;

N – число автомобилей, работающих на всех маршрутах;

Q – число ездов.

Пронумеруем пункты назначения в порядке возрастания разностей

$$l_n^{B_1} - l_{AB_1} \leq l_n^{B_2} - l_{AB_2} \leq l_n^{B_3} - l_{AB_3} \leq \dots \leq l_n^{B_n} - l_{AB_n}. \quad (33)$$

Тогда оптимальное решение имеет вид:

$$\left\{ \begin{array}{l} X_1 = \min(Q_1, N); \\ X_2 = \min(Q_2, N - X_1); \\ X_3 = \min(Q_3, N - X_2); \\ \dots \\ X_n = \min\left(Q_n, N - \sum_{j=1}^{n-1} X_j\right). \end{array} \right. \quad (34)$$

Наилучшее решение получается при такой системе маршрутов, когда максимальное число автомобилей заканчивает работу в пунктах назначения с минимальными разностями $l_n^{B_j} - l_{AB_j}$, т.е. второго нулевого и груженого пробогов.

1.2.5. Параметры маршрута перевозки грузов

В современных условиях при формировании маршрута важно учитывать его следующие характеристики: время на маршруте, затраты на перевозки. Указанные показатели тесно переплетаются друг с другом. Главным критерием является время доставки товара, что в свою очередь составляет лишь часть времени на маршруте.

Для потребителя не имеет значения ни последовательность объезда пунктов, ни соотношение холостых и груженных ездов, на основании которых формируются затраты.

В связи с этим поставщику логистических услуг необходимо самостоятельно проводить анализ существующих проблемных ситуаций и находить решение. Не последнюю роль в сокращении затрат может сыграть грамотная организация взаимодействия со складом и налаживание ритмичного транспортного процесса.

Движение автотранспорта происходит по маршрутам. Маршрут движения – путь, проходимый автомобилем от начального до конечного пункта маршрута, при выполнении перевозок.

Приведем основные понятия, относящиеся к маршруту:

- ездка – законченный цикл транспортной работы;
- оборот автомобиля – законченный цикл движения, т.е. движение от начального до конечного пункта и обратно; включает в себя одну или несколько ездов.

Основным критерием эффективности работы транспорта является выполнение доставки груза «точно в срок». Кроме того, свои ограничения на параметры маршрута накладывают нормативные документы и техника безопасности. В связи с этим уместно рассмотреть все параметры маршрута исходя из времени их протекания.

В общем случае время на маршруте складывается из времени движения и времени простоя под погрузкой – разгрузкой (табл. 5).

Немаловажным показателем, характеризующим маршрут, является коэффициент использования пробега:

$$\beta = \frac{l_{\partial\phi}^{zp}}{l_{\partial\phi}^{zp} + l_{\partial\phi}^{xx}} . \quad (35)$$

Таблица 5

Формирование времени на маршруте

Время на маршруте T_m			
Нулевой пробег	Время движения	Время простоя под погрузкой – разгрузкой	Второй нулевой пробег
$t_n = \frac{l_n}{V_t}$	$t_{\partial\phi} = \frac{l_{\partial\phi}^{zp} + l_{\partial\phi}^{xx}}{V_t}$	$t_{np} = t_{ож} + t_m + t_{n-p} + t_{оф}$	$t_n = \frac{l'_n}{V_t}$
l_n – первый нулевой пробег, км	$l_{\partial\phi}^{zp}$ – расстояние движения с грузом, км	$t_{ож}$ – ожидание погрузки-разгрузки, час	l'_n – второй нулевой пробег
		t_m – маневрирование автомобиля в пунктах погрузки – разгрузки, час	
V_t – среднетехническая скорость, км/час	$l_{\partial\phi}^{xx}$ – расстояние движения без груза, км	t_{n-p} – выполнение погрузочно-разгрузочных работ, час	
		$t_{оф}$ – оформление документов, час	

Исследования показали, что повышение коэффициента служит причиной уменьшения суммы как переменных, так и постоянных затрат, приходящихся на 1 т·км.

Маршруты движения могут быть маятниковые и кольцевые. При маятниковом маршруте путь следования автомобиля между двумя грузовыми пунктами неоднократно повторяется. Кольцевой маршрут – маршрут движения автомобиля по замкнутому контуру, соединяющему несколько потребителей (поставщиков).

На все разработанные маршруты накладывается ряд ограничений:

- минимум порожнего пробега;
- максимальное использование грузоподъемности;
- время на маршруте не должно превышать время в наряде;
- перевозки должны осуществляться по кратчайшему пути;
- для кольцевых маршрутов оптимальная последовательность объезда пунктов.

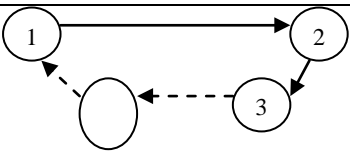
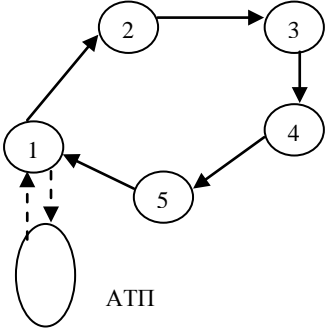
Формирование времени на указанных видах маршрутов и их разновидностях отображено в табл. 6.

Таблица 6

Разновидности маршрутов и формирование времени на них

Разновидность маршрута	Схема движения	Время в обороте	Примечания
1	2	3	4
А. Маятниковый маршрут			
С обратным порожним пробегом		$t_e = t_o$ $t_e = t_{np}^1 + t_{\partial\partial}^{zp} + t_{np}^2 + t_{\partial\partial}^{xx}$	На маршруте имеется один погрузочный и один разгрузочный пункт
С полным использованием пробега		$t_o = t_{\partial\partial} + \sum t_{np}$ $t_o = t_{np}^1 + t_{\partial\partial}^{zp} + t_{np}^2 + t_{\partial\partial}^{zp} + t_{np}^1$	На каждом грузовом пункте транспортные средства после разгрузки перемещаются на этом же пункте под погрузку другим грузом

Окончание табл. 6

1	2	3	4
С неполным использованием пробега		$t_o = t_{np} + t_{\partial\partial}$ $t_o = t_{np}^1 + t_{\partial\partial}^{2p} + t_{np}^2 + t_{\partial\partial}^{2p} + t_{np}^3 + t_{\partial\partial}^{xx}$	На маршруте имеется по одному пункту погрузки и разгрузки, а также один совмещенный пункт, где осуществляется погрузка (разгрузка)
Б. Кольцевой маршрут			
Развозочный		$t_o = \sum t_{\partial\partial} + \sum t_{np}$ $t_o = t_{np}^1 + t_{\partial\partial}^{1-2} + t_{np}^2 + t_{\partial\partial}^{2-3} + t_{np}^3 + t_{\partial\partial}^{3-4} + t_{np}^4 + t_{\partial\partial}^{4-5} + t_{np}^5 + t_{\partial\partial}^{5-1} + t_n + t_n'$	Маршрут, при котором продукция загружается у одного поставщика и развозится нескольким потребителям
Сборный			Маршрут движения, когда продукция получается у нескольких поставщиков и доставляется одному потребителю
Сборно-развозочный			Сочетание развозочного и сборного маршрутов

Различные математические методы позволяют соблюдать перечисленные ограничения. Так, ограничения 2 и 4 были реализованы в предыдущих разделах; там же после решения транспортной задачи были определены пункты для осуществления перевозок по маятниковым маршрутам.

1.2.6. Пример составления графика работы подвижного состава

При организации перевозки грузов по часовым графикам автотранспортное предприятие, грузоотправители и грузополучатели работают по согласованному расписанию, устанавливающему фиксированное время (или фиксированный интервал) выполнения операций погрузки и разгрузки. Разработка и внедрение часовых графиков представляет собой достаточно сложный комплекс расчетных и организационно-технических мероприятий.

Как правило, использование часовых графиков целесообразно в следующих случаях:

- перевозки на постоянных маршрутах со стабильными грузопотоками;
- работа автотранспорта в качестве звена основного производства, особенно когда нельзя создать запасы доставляемого груза у грузополучателя;
- доставка скоропортящихся, а также особо ценных грузов.

Возможности использования часовых графиков на этом не исчерпываются. Следует учитывать, что часовые графики являются основным инструментом организации взаимодействия транспорта и складских хозяйств, позволяют значительно снизить простои при погрузочных работах, что весьма актуально в случае прибытия в пункт погрузки большого количества автомобилей.

Кроме того, внедрение часовых графиков обеспечивает еще ряд дополнительных преимуществ:

- повышение дисциплины производства;
- сокращение и/или ликвидация складских запасов;
- отсутствие простоев в пунктах погрузки-разгрузки;
- снижение себестоимости перевозок и повышение производительности;
- контролирование доставки груза «точно в срок».

Формирование часового графика движения автотранспортных средств происходит на основании показателей маршрута, рассмотренных выше. График движения на основе элементов маршрута (табл. 7) представлен на рис. 7.

Представленный пример построен при использовании одного транспортного средства. В случае некоторого их фиксированного количества A , полученного на предыдущих этапах, необходимо определить оптимальную последовательность погрузки транспортных средств и назначение их на маршрут.

Для этого решают задачу разработки часовых графиков поставок.

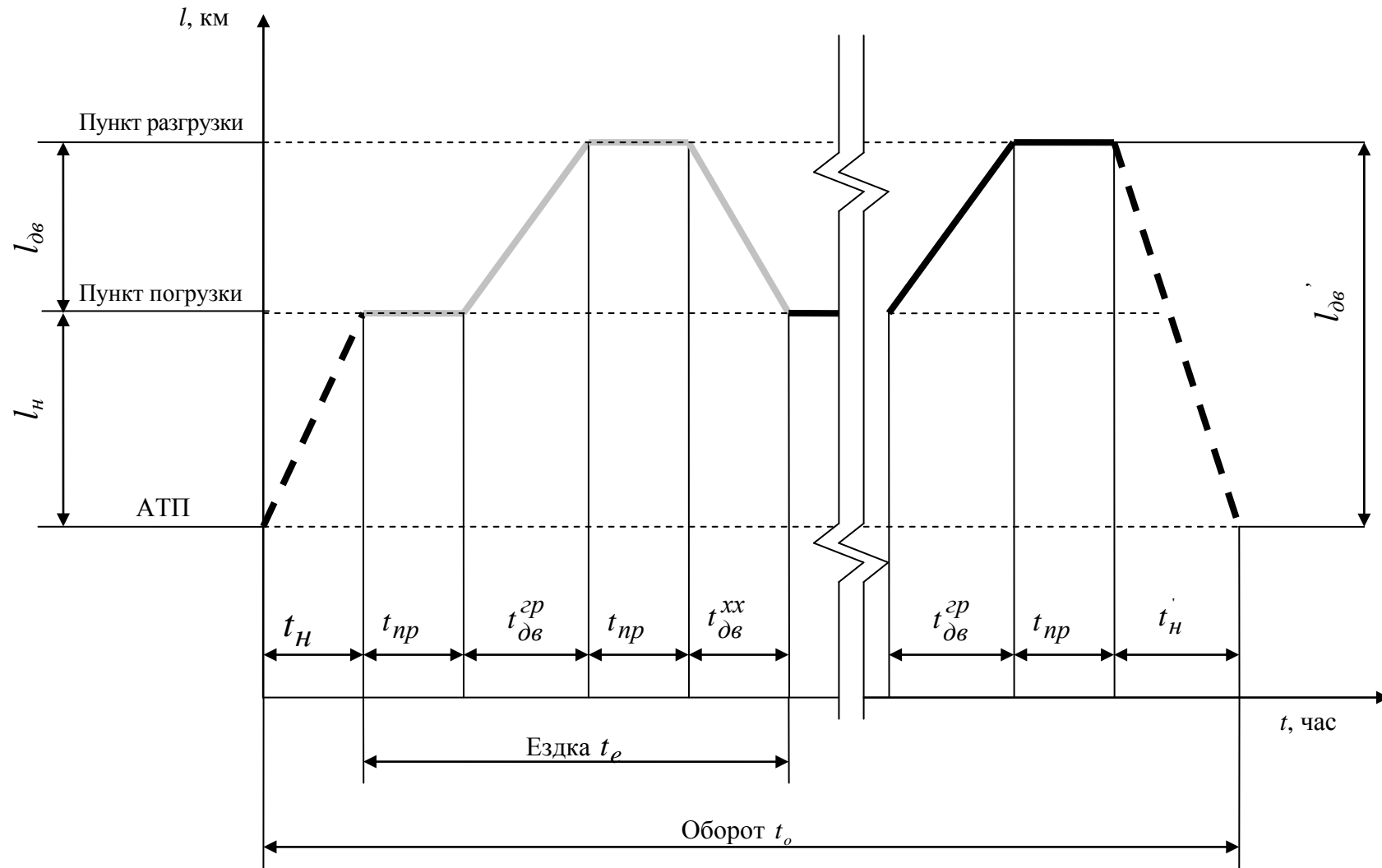


Рис. 7. График движения подвижного состава на маршруте

Таблица 7

Формулы для расчета пробега и времени по элементам маршрута

Элемент маршрута	Пробег	Время
Ездка	$l_e = l_n + l_{\partial\phi}^{2p} + l_{\partial\phi}^{xx} + l'_n$	$t_e = t_{нозр} + t_{\partial\phi}^{2p} + t_{разг} + t_{\partial\phi}^{xx}$
Оборот	$l_o = l_n + \sum l_{\partial\phi}^{2p} + \sum l_{\partial\phi}^{xx} + l'_n$	$t_o = \sum t_{np} + \sum t_{\partial\phi}$

Исходными данными для задачи являются:

- количество автомобилей А;
- количество маршрутов и число требуемых оборотов;
- время оборота на маршруте t_o и время погрузочно-разгрузочных работ t_{np} ;

– известные показатели маршрута: количество пунктов, очередность их объезда, время погрузки-разгрузки в каждом из них.

Требуется построить план перевозок по часовым графикам таким образом, чтобы обеспечить равномерное прибытие автомобилей к пункту погрузки. Метод решения предполагает работу с условной единицей времени, равной времени погрузки t_{np} .

Тогда время оборота можно определить из соотношения

$$\tau_i = \frac{t_{0i}}{t_{np}}. \quad (36)$$

Для примера возьмем показатели, приведенные в табл. 8.

Таблица 8

Показатели для решения задачи построения графика движения [9]

Показатель	Маршрут				
	1	2	3	4	5
τ_i	13	7	9	15	11
n_0	3	6	5	2	4

Общее количество оборотов определяется по формуле

$$n_e = \sum n_{0i}. \quad (37)$$

В нашем случае $n_e = 20$.

Предлагаемый алгоритм дает возможность построить график выполнения перевозок, назначив последовательно отправление с первой груженой ездкой в моменты 1, 2, ..., А, представить график остальных $(n_e - А)$ выездов.

График составляется в матрице размером $(n_e - A)A$ (табл. 9). Номер столбца матрицы соответствует номеру автомобиля, количество столбцов – количеству транспортных единиц, номер строки – номеру отправки.

Таблица 9

Матрица для решения задачи

№ мо- мента	Время	Номер автомобиля									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
		Время									
		8:00	8:10	8:20	8:30	8:40	8:50	9:00	9:10	9:20	9:40
11	9:50	10	<u>9</u>	8	7	6	5	4	3	2	1
12	10:00	<u>11</u>	1	9	8	7	6	5	4	3	2
13	10:10	1	2	10	<u>9</u>	8	7	6	5	4	3
14	10:20	2	3	<u>11</u>	1	9	8	7	6	5	4
15	10:30	3	4	1	2	10	<u>9</u>	8	7	6	5
16	10:40	4	5	2	3	<u>11</u>	1	9	8	7	6
17	10:50	5	6	3	4	1	2	10	<u>9</u>	8	7
18	11:00	6	7	4	5	2	3	<u>11</u>	1	9	8
19	11:10	7	8	5	6	3	4	1	2	10	<u>9</u>
20	11:20	8	9	6	<u>7</u>	4	5	2	3	11	1
Занятость автомобилей		11	9	11	7	11	9	11	9		
τ_i для последней ездки		7	15	7	7	7	13	7	13	15	13

Подготавливаем матрицу размером $(n_e - A)A = 10 \times 10$.

Номер столбца в ней соответствует номеру автомобиля; номер строки – номеру момента, начиная с $A + 1$. Считаем, что в 1-й момент на погрузку встал первый автомобиль, во 2-й момент – второй и так далее, в 10-й момент – десятый автомобиль. Начиная с 8 ч утра (начало утренней смены погрузочного механизма), каждому моменту погрузки поставим в соответствие текущее время.

После подготовки матрицы заполняем ее 1-ю строку. Она соответствует 1-му моменту. В строке записываем, сколько времени прошло с момента предыдущей погрузки каждого автомобиля. Для первого автомобиля прошло 10 моментов, для второго 9 и так далее, для десятого – 1 момент.

Ищем максимальное число в 1-й строке, но такое, чтобы оно было равно продолжительности оборота. Таким является число 9, которое соответствует времени оборота в пункт 3. Выделяем это число. Это значит, что в 11-й момент второй автомобиль после ездки по маршруту № 3 вновь становится под загрузку. Отмечаем, что по маршруту № 3 одна ездка выполнена. Для этого значение n_{o3} уменьшим на 1.

Заполняем 2-ю строку (12-й момент). Вновь записываем, сколько времени прошло для каждого автомобиля с момента предыдущей погрузки. Для всех автомобилей, кроме второго, это время увеличится на 1 момент по сравнению с предыдущим значением. Для второго автомобиля оно станет равным 1, так как в предыдущий момент автомобиль находился под погрузкой.

Опять ищем максимальное число, равное времени оборота. Это число равно 11. Выделяем его, что означает постановку под загрузку первого автомобиля после его ездки по маршруту № 3. Значение n_{03} уменьшаем на 1.

Дальше все повторяется. Заполняется очередная строка, ищется максимальное время оборота, число выделяется, соответствующее значение n_{oi} уменьшается на 1.

В 20-й момент максимальное время оборота равно 11, но все ездки в пункт 5 уже выполнены. В пункт 3 все ездки также выполнены. Поэтому выделяется следующее по величине время, равное 7, означающее, что в 20-й момент на погрузку назначен четвертый автомобиль после ездки по маршруту № 2. Таким образом, если все ездки по i -му маршруту выполнены, в строке матрицы ищется следующая по величине продолжительность оборота.

После заполнения всех строк матрицы некоторые значения n_{oi} останутся положительными. Эти ездки должны будут выполняться автомобилями в конце маршрутов.

Назначать ездки целесообразно таким образом, чтобы все автомобили были заняты на перевозках примерно одинаковое время. Подсчитаем занятость транспортных единиц без учета этих ездок. Для этого просуммируем в каждом столбце выделенные числа и суммы и запишем в 11-й строке матрицы. Последние ездки распределим по правилу: меньшей сумме – большую продолжительность. Результат запишем в последней строке.

Имея заполненную матрицу, легко расшифровать маршруты автомобилей. Например, первая груженная ездка маршрута № 1 будет по маршруту № 5 (время оборота к нему выделено во 2-й строке), после маршрута № 5 должна выполняться ездка в пункт 2 (кружок в последней строке 1-го столбца матрицы). Теперь нетрудно составить часовой график работы любого выбранного автомобиля.

1.3. Организация взаимодействия подвижного состава и погрузочно-разгрузочных машин и оборудования

Работа автомобильного подвижного состава, пунктов погрузки и разгрузки представляет собой единый технологический процесс, в соответствии с которым организуется отгрузка, перемещение и прием груза. Понимание единства технологического процесса работы грузоотправителей, грузополучателей и транспортников приводит к необходимости согласования ритма транспортного процесса с ритмом производства и потребления,

оптимизации величины запасов груза у потребителей и объема накопления у производителей, сокращения числа перевалок груза и снижения повторности перевозок.

Значительную часть времени в наряде может приходиться на простой автомобиля в пунктах погрузки и разгрузки. Погрузочно-разгрузочные пункты представляют собой основные звенья транспортного процесса, так как от эффективности организации взаимодействия с ними автомобилей в основном зависят конечные результаты перевозок.

Пункт погрузки (зона отправки готовой продукции предприятия) представляет собой место выполнения основных элементов логистических действий, а именно изучение и формирование спроса на производимую продукцию, складирование, хранение, отгрузка. Именно здесь зарождаются материальные и информационные потоки, в которых участвует автотранспорт.

Местом непосредственного взаимодействия автотранспорта с пунктами погрузки и разгрузки являются погрузочно-разгрузочные посты, на которых установлены грузоподъемные механизмы. Для описания и регулирования процесса взаимодействия используют ряд терминов (табл. 10).

Таблица 10

Термины, применяемые в целях взаимодействия подвижного состава и склада

Термин	Определение	Параметры системы массового обслуживания и маршрута
Пропускная способность пункта, имеющего n постов с одинаковой пропускной способностью	Представляет собой максимальное количество транспортных средств, которое может быть погружено и/или разгружено в данном пункте в единицу времени (час, смена, сутки)	$\Pi = nv$
Интенсивность прибытия автомобилей	Количество транспортных средств за единицу времени	λ
Ритм работы пункта	Период времени между отправлением погруженных или разгруженных транспортных средств из пункта	$R = \frac{1}{nv} = \frac{t_{np}}{n}$
Интервал движения транспортных средств	Время, через которое транспортные средства прибывают в пункт погрузки-разгрузки	$I = \frac{1}{\lambda} = \frac{t_o}{m}$

Следует отметить, что многие показатели выведены с помощью теории массового обслуживания, которая позволяет эффективно находить основные показатели погрузочно-разгрузочных пунктов и их эффективность.

Если ритм работы пункта равен интервалу движения транспортных средств ($R = I$), то пункт будет равномерно загружен работой, а транспортные средства не будут простаивать в ожидании погрузки и/или разгрузки.

Исходя из этого условия, мы можем определить потребное число пунктов погрузки-разгрузки:

$$m = nvt = \frac{t_0 n}{t_{np}}. \quad (38)$$

Следует заметить, что число автомобилей, работающих на маршруте, мы считаем известным. Однако на практике может возникнуть и обратная задача: расчет количества транспортных средств, потребных для бесперебойной работы погрузочно-разгрузочного пункта, т.е.

$$n = \frac{\lambda}{v} = \frac{mt_{np}}{t_0}. \quad (39)$$

В формулах (38, 39) первая часть реализована через термины системы массового обслуживания, вторая – через элементы маршрута. С точки зрения системы массового обслуживания процесс формулируется следующим образом. В систему, состоящую из n обслуживающих аппаратов, поступают требования от m обслуживаемых объектов.

Одновременно в системе не может быть больше m требований, где m – конечное число. Часть времени обслуживаемые объекты находятся в системе обслуживания, часть – вне ее. Критерием качества обслуживания является математическое ожидание числа простаивающих автомобилей, т. е. среднее число требований, ожидающих начало обслуживания M_1 , и математическое ожидание числа простаивающих постов M_2 .

По закону Пуассона в простейшем потоке вероятность того, что m автомобилей прибывает на предприятие в течение времени t , определяется выражением

$$V(t) = \frac{(\lambda t)^m}{m!} e^{-\lambda t}, \quad (40)$$

где λ – отношение общего числа автомобилей t , прибывающих на предприятие под обработку за анализируемый период, к периоду $t^{\lambda = \frac{m}{t}}$;
 e – основание натурального логарифма.

Для простейшего потока параметр λ равен математическому ожиданию числа требований, поступающих в обслуживающую систему за единицу времени.

Время обслуживания автомобилей постом разгрузки подчинено показательному закону с параметром v . Это означает вероятность того, что время обслуживания v меньше t и равно

$$P\{v < t\} = F(t) = 1 - e^{-vt}, \quad (41)$$

где $F(t)$ – функция распределения времени обслуживания;

$\frac{1}{v}$ – математическое ожидание времени обслуживания.

Поток автомобилей определяется математическим ожиданием числа автомобилей, прибывших на предприятие в единицу времени. Если же в момент прибытия очередного автомобиля на базу все посты заняты, то он становится в очередь. Время обработки одного автомобиля определяется законом распределения $F(t)$ с параметром $\frac{\lambda}{v}$.

Автомобиль может уйти с базы только после полной погрузки, поэтому вводится условие, не позволяющее очереди автомобилей расти безгранично, $\frac{\lambda}{v} \leq n$.

Это условие в рассматриваемой задаче имеет следующий смысл: λ – среднее число автомобилей, прибывающих на базу под обработку в единицу времени; $\frac{1}{v}$ – среднее время обработки автомобиля; $\lambda \frac{1}{v}$ – среднее число разгрузочных постов, которое необходимо иметь, чтобы обрабатывать в единицу времени среднее число автомобилей.

Отсюда условие $\frac{\lambda}{v} \leq n$ означает, что число n постов должно быть больше среднего их числа, чтобы за единицу времени обрабатывать все автомобили, приходящие на базу.

Задаваясь последовательно числом постов, большим $\lambda \frac{1}{v}$, можно определять математическое ожидание числа простаивающих автомобилей в единицу времени в ожидании погрузки и математическое ожидание числа простаивающих постов в ожидании автомобилей.

Очевидно, что с увеличением числа постов расходы, связанные с простоем автомобилей, будут уменьшаться, а расходы по простоям постов – расти. Оптимальным числом постов будет число, при котором сумма затрат по простоям автомобилей и постов будет минимальной.

Запишем выражение, характеризующее вероятность того, что все обслуживающие аппараты заняты:

$$P = \frac{vP_0}{(n-1)!(nv-\lambda)} \left(\frac{\lambda}{v} \right)^n, \quad (42)$$

где P_0 – характеризует вероятность того, что все обслуживающие аппараты свободны;

$$P_0 = \frac{1}{\sum_{m=0}^{\infty} \frac{1}{m!} \left(\frac{\lambda}{v} \right)^m + \frac{v}{(n-1)!(nv-\lambda)} \frac{\lambda^m}{v}}. \quad (43)$$

Среднее время ожидания начала обработки из-за занятости постов

$$G_{ож} = \frac{\Pi}{nv - \lambda}, \quad (44)$$

а простой автомобилей в единицу времени вследствие отсутствия свободных постов

$$G_{ож} = \frac{\Pi\lambda}{nv - \lambda}. \quad (45)$$

Математическое ожидание числа свободных обслуживающих аппаратов

$$M_2 = \sum_{m=0}^{n-1} \frac{n-m}{m!} \left(\frac{\lambda}{v} \right)^m, \quad (46)$$

где M_2 – математическое ожидание числа простаивающих постов в ожидании погрузки автомобилей.

Сопоставляя данные по потерям от простоев аппарата и автомобилей, можно сделать вывод об оптимальном числе аппаратов.

2. ПРАКТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

2.1. Рекомендации для выполнения курсовой работы по дисциплине «Основы проектирования автотранспортных систем доставки грузов»

По дисциплине «Основы проектирования автотранспортных систем доставки грузов» предусмотрено выполнение курсовой работы на тему «Проектирование автотранспортной системы доставки грузов».

Цели выполнения курсовой работы – развитие у обучающихся навыков самостоятельной работы, закрепление теоретических знаний и приобретение опыта их использования при проектировании автотранспортной системы доставки грузов.

Для развития практических навыков при выполнении курсовой работы предусмотрено:

- решение задачи выбора маршрутов движения и их оценка;
- решение задачи выбора погрузочно-разгрузочных машин и оборудования;
- проведение расчета необходимого количества подвижного состава для выполнения заданного объема перевозок;
- планирование работы подвижного состава на маршрутах.

Номер варианта принимается по сумме трех последних цифр учебного шифра обучающегося. Бланк задания и исходные данные для выполнения курсовой работы приведены в прил. 2.

При выполнении курсовой работы необходимо использовать действующие на автомобильном транспорте единые нормы времени простоя автомобилей под погрузкой и разгрузкой, установленные на 1 т перевозимого груза (за исключением наливных грузов, контейнеров и др.),

дифференцированные в зависимости от способа выполнения погрузочно-разгрузочных работ (ручного, механизированного и частично механизированного), типа и мощности погрузочно-разгрузочных механизмов, вида груза, типа и грузоподъемности автомобиля [5].

2.2. Рекомендации по организации занятий семинарского типа и самостоятельной работы обучающихся

По дисциплине **«Основы проектирования автотранспортных систем доставки грузов»** при подготовке к занятиям семинарского типа обучающимся необходимо самостоятельное изучение разделов 1.1, 1.2 и Приложение 1, а также ответить на контрольные вопросы и задания.

1. Что понимается под маршрутизацией грузопотоков? В чем ее значение и применение?

2. Назовите основные схемы организации перевозочного процесса, их достоинства и недостатки.

3. Укажите основные этапы планирования перевозочного процесса и составления маршрутов движения.

4. Укажите основные элементы маршрута. Каким образом формируется время на маршруте для различных схем организации перевозочного процесса?

5. Что понимается под графиком движения транспорта? В каких случаях целесообразно использование графиков движения транспорта?

6. Что понимается под организацией взаимодействия транспорта и складского хозяйства? Какие показатели применяются в целях взаимодействия подвижного состава и склада?

По дисциплине **«Транспортно-технологические схемы перевозок отдельных грузов»** при подготовке к занятиям семинарского типа обучающимся необходимо самостоятельное повторение разделов 1.1, 1.2 и прил. 1.

По дисциплине **«Решение транспортных задач с учетом экономических показателей»** при подготовке к занятиям семинарского типа обучающимся необходимо самостоятельное повторение разделов 1.1, 1.2 и прил. 1, а также изучение раздела 1.3.

2.3. Рекомендации по подготовке выпускной квалификационной работы

Представленные в учебно-методическом пособии методика разработки маршрутов и составления графиков доставки грузов (раздел 1.2) и раздел 1.3 рекомендуются к использованию обучающимися при подготовке выпускной квалификационной работы по направлению 23.03.01 «Технология транспортных процессов».

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Вельможин, А.В. Основы теории транспортных процессов и систем: учебное пособие для студентов высших учебных заведений, обучающихся по направлению подготовки бакалавров «Технология транспортных процессов» / А.В. Вельможин, В.А. Гудков, Л.Б. Миротин. – М.: Академия, 2015. – 221 с.
2. Вельможин, А.В. Теория автомобильных перевозок / А.В. Вельможин, А.А. Сериков. – Волгоград: Издатель, 2009. – 158 с.
3. Горев, А.Э. Основы теории транспортных систем: учебное пособие / А.Э. Горев. – СПб.: СПбГАСУ, 2010. – 215 с.
4. Грузовые автомобильные перевозки: учебник для студентов вузов, обучающихся по направлению подготовки бакалавров «Технология транспортных процессов» / А.В. Вельможин [и др.]. – 3-е изд., испр. – М.: Горячая линия – Телеком, 2016. – 559 с.
5. Единые нормы времени на перевозку грузов автомобильным транспортом и сдельные расценки для оплаты труда водителей: утверждены Государственным комитетом СССР по труду и социальным вопросам и Секретариатом ВЦСПС, постановление от 13.03.1987 г. №153/6-142 // Центральное бюро нормативов по труду Государственного комитета СССР по труду и социальным вопросам. – М.: Экономика, 1990. – 49 с.
6. Ерофеевский, Н.П. Суточное планирование грузовых автомобильных перевозок: практическое пособие / Н.П. Ерофеевский. – М.: Транспорт, 1974. – 56 с.
7. Жидков, В.А. Методы оперативного планирования грузовых автомобильных перевозок / В.А. Жидков, К.В. Ким. – М.: Транспорт, 1982. – 183 с.
8. Ковалев, Р.Н. Логистическое управление транспортными системами: учебное пособие / Р.Н. Ковалев, Д.В. Демидов, С.Н. Боярский. – Екатеринбург: Уральский гос. лесотехнический ун-т, 2008. – 165 с.
9. Курганов, В.М. Логистика. Управление автомобильными перевозками: практический опыт / В.М. Курганов. – М.: Книжный мир, 2007. – 448 с.
10. Лукинский, В.С. Основы логистики: учебник / В.С. Лукинский, В.В. Лукинский, Н.Г. Плетнева. – СПб.: СПбГИЭУ, 2012. – 281 с.
11. Николин, В.И. Автотранспортный процесс и оптимизация его элементов / В.И. Николин. – М.: Транспорт, 1990. – 191 с.
12. Николин, В.И. Грузовые автомобильные перевозки: монография / В.И. Николин, Е.Е. Витвицкий, С.М. Мочалин. – Омск: Вариант – Сибирь, 2002. – 480 с.

13. Об утверждении Положения об особенностях режима рабочего времени и времени отдыха водителей автомобилей: Приказ Минтранса России от 20 августа 2004 г. № 15.

14. Основы теории автотранспортных систем (грузовые автомобильные перевозки) / В.И. Николин [и др.]. – Омск: Изд-во ОмГПУ, 1999. – 283 с.

15. Питеркин, С.В. Точно вовремя для России. Практика применения ERP-систем / С.В. Питеркин, Н.А. Оладов, Д.В. Исаев. – М.: Альпина Паблишер, 2002. – 368 с.

16. Поваров, Г.Н. Сложность как показатель научно-технического прогресса / Г.Н. Поваров // Проблемы исследования систем и структур. Материалы конференции. – М., 1965. – С. 5–12.

17. Проектирование автотранспортных систем доставки грузов: Монография / В.И. Николин [и др.]; под общ. ред. В.И. Николина. – Омск: Изд-во СибАДИ, 2001. – 281 с.

18. Теория систем и методы системного анализа в управлении и связи / В.Н. Волкова и др. – М.: Радио и связь, 1983. – 248 с.

19. Терминология комбинированных перевозок / Terminology on combined transport. – Нью-Йорк – Женева, 2001. – 69 с.

20. Устав автомобильного транспорта и городского наземного электрического транспорта: федер. закон от 08.11.2007 г. № 259-ФЗ.

21. Форд, Г. История моего успеха: пер. с англ. / Г. Форд. – М.: АСТ, 2015. – 432 с. – (Гордость человечества).

ПРИЛОЖЕНИЯ

Приложение 1

Основные термины и определения

Логистика (Logistics) – процесс организации цепи доставки и управления этой цепью в самом широком смысле. Данная цепь может охватывать как поставки сырья, необходимого для производства, так и управление материальными ресурсами на предприятии, доставку на склады и в распределительные центры, сортировку, переработку, упаковку и окончательное распределение в местах потребления [19].

Точно вовремя (ТВВ) – производственная философия, направленная на непрерывное совершенствование и основанная на планомерном устранении всего *бесполезного*, т. е. всего того, что ведет к повышению себестоимости продукции, не повышая при этом ее потребительную стоимость. В узком смысле – поставка нужных материалов в нужное место точно в нужное время, что предполагает высокую степень синхронизации производственных операций. Синоним – **гибкое производство**. Используемый английский эквивалент: Just-in-Time (JIT) [15].

Цикл транспортного процесса – законченный комплекс операций, необходимых для доставки грузов. На автомобильном транспорте под циклом транспортного процесса понимается **ездка**.

Время ездки t_e состоит из двух основных составляющих: времени движения $t_{\partial\partial}$ и времени простоя t_{np} , т. е.

$$t_e = \sum_{i=1}^n t_{\partial\partial i} + \sum_{j=1}^m t_{np j} . \quad (1)$$

Очевидно, что снижение времени ездки повышает производительность подвижного состава.

Время движения $t_{\partial\partial}$ состоит из времени движения с грузом и времени движения без груза, состоящее из времени порожнего движения (пробега) к месту погрузки и времени нулевого пробега.

В результате выполнения транспортного процесса грузы перемещаются на определенные расстояния, и при этом совершается **транспортная (грузовая) работа R** (т·км), равная количественно произведению количества тонн груза Q_i на расстояние перевозки l_i :

$$R = \sum_{i=1}^n Q_i l_i , \quad (2)$$

где $i = 1 \dots n$ – число мест погрузки груза.

При вывозке лесных грузов (хлысты, сортименты), навалочных грузов (грунт, песок, щебень)¹ грузовая работа измеряется в [м³ км].

Естественно, что величина грузовой работы должна иметь для конкретного количества (объема) перевозки груза минимальное значение, т. е. $R \rightarrow \min$. Это должно достигаться рациональной организацией маршрутов движения подвижного состава, обеспечивая минимум значения **средне-взвешенного расстояния перевозки груза**, т. е.

$$l_{cp} = \frac{\sum_{i=1}^n Q_i l_i}{\sum_{i=1}^n Q_i} \rightarrow \min . \quad (3)$$

Маршрут (маршрут движения) – путь следования транспортного средства между пунктами отправления и назначения (п. 8 ст. 2 Федерального закона Российской Федерации № 259-ФЗ [20]). При расчетах времени работы на маршрутах не учитываются нулевые пробеги.

Расстояние между начальным и конечным пунктами называется **длинной маршрута**.

Маршрут маятниковый – маршрут, на котором путь следования транспортного средства в прямом и обратном направлениях лежит на

¹ При погрузке грузов экскаваторами.

одной и той же трассе. Прямое (обратное) направление – направление, по которому следует больший (меньший) грузопоток.

Виды маятниковых маршрутов движения:

- с обратным порожним пробегом, когда на маршруте имеется один погрузочный и один разгрузочный пункт (простой маятниковый маршрут);

- с полным использованием пробега, на каждом грузовом пункте маршрута транспортные средства после разгрузки перемещаются на этом же пункте под погрузку другим грузом;

- с неполным использованием пробега (в прямом, обратном или обоих направлениях), когда на маршруте имеется по одному пункту погрузки и разгрузки, а также один совмещенный пункт, где осуществляется погрузка (разгрузка).

Маршрут кольцевой – путь следования транспортного средства по замкнутому контуру, соединяющему несколько пунктов погрузки-разгрузки. При этом в кольцевом маршруте начальный пункт является конечным. Виды кольцевых маршрутов движения:

- *развозочный*, когда маршрут, на котором загруженное транспортное средство развозит груз по нескольким пунктам назначения и постепенно разгружается;

- *сборный*, когда маршрут, на котором транспортное средство последовательно проходит несколько погрузочных пунктов, постепенно загружается и завозит груз в один пункт разгрузки;

- *сборно-развозочный*, когда маршрут, на котором одновременно развозится один груз и собирается другой.

Маршрут комбинированный – сочетание нескольких маршрутов движения транспортного средства, в ходе которых за один оборот может быть совершено несколько ездов.

Приложение 2

Бланк задания для выполнения курсовой работы

Министерство науки и образования Российской Федерации
ФГБОУ ВО «Уральский государственный лесотехнический университет»
Кафедра автомобильного транспорта

**Задание для выполнения курсовой работы
на тему «Проектирование автотранспортной системы доставки грузов»
по дисциплине «Основы проектирования автотранспортных систем
доставки грузов»**

Направление подготовки – 23.03.01 «Технология транспортных процессов»

Выдано обучающемуся (обучающейся) _____
(фамилия, имя, отчество)

Учебный шифр _____

Дата защиты работы « _____ » _____ 20 ____ года

1. Цели выполнения курсовой работы – развитие у обучающихся навыков самостоятельной работы, закрепление теоретических знаний и приобретение опыта их использования при проектировании автотранспортной системы доставки грузов.

При разработке технологии транспортного процесса, организации перевозок грузов обучающийся должен показать умение делать обоснованные выводы.

2. Содержание курсовой работы.

Курсовая работа должна состоять из расчетно-пояснительной записки и графической части на листе формата А3. Курсовая работа выполняется последовательно по мере изучения соответствующих тем дисциплины.

Примерное содержание **расчетно-пояснительной записки**: титульный лист, содержание, введение, основная часть, библиографический список, приложения.

При выполнении курсовой работы обучающийся:

- производит выбор погрузочно-разгрузочных машин и оборудования;
- планирует маршруты движения подвижного состава (маятниковые и маятниково-кольцевые);
- выбирает оптимальный вариант организации маршрутов перевозки груза;
- производит расчеты по выбранному варианту организации маршрутов перевозки груза, определяя количество оборотов (ездов), производительность и количество автомобилей на каждом маршруте, составляет задание каждому автомобилю;
- определяет интервал движения автомобилей для каждого пункта погрузки и составляет суточный график движения автомобилей.

Содержание **графической части**: суточный график работы подвижного состава на маршрутах перевозки грузов.

3. Исходными данными для выполнения курсовой работы являются вид груза для каждого пункта погрузки (рассматривается условный треугольник с вершинами А, Б, В), объем перевозок (т) и расстояние перевозки (км).

Номер варианта – по сумме трех последних цифр учебного шифра обучающегося.

Курсовая работа должна быть подписана обучающимся на титульном листе и на последней странице.

Таблица

Исходные данные для выполнения курсовой работы

№ варианта	Объем перевозки (т) / Расстояние перевозок (км)					
	из А (груз – Щебень)		из Б (груз – Песок)		из В (Почвенно-растительный грунт)	
	в Б	в В	в А	в В	в А	в Б
1	50 / 10	170 / 20	80 / 10	125 / 30	180 / 20	110 / 30
2	55 / 15	175 / 25	85 / 15	120 / 10	175 / 25	115 / 10
3	60 / 20	180 / 30	90 / 20	115 / 25	170 / 30	120 / 25
4	65 / 25	100 / 35	95 / 25	110 / 30	165 / 35	50 / 30
5	70 / 30	105 / 40	100 / 30	105 / 35	160 / 40	55 / 35
6	75 / 35	110 / 45	105 / 35	100 / 40	155 / 45	60 / 40
7	80 / 40	115 / 10	60 / 40	110 / 20	150 / 10	135 / 20
8	85 / 45	120 / 15	135 / 45	115 / 25	145 / 15	65 / 25
9	90 / 10	50 / 20	65 / 10	120 / 15	140 / 20	60 / 15
10	95 / 15	55 / 25	70 / 15	125 / 20	135 / 25	55 / 20
11	100 / 20	60 / 30	75 / 20	130 / 30	130 / 30	50 / 30
12	105 / 25	135 / 35	80 / 25	135 / 35	125 / 35	140 / 35
13	110 / 30	140 / 40	85 / 30	145 / 40	120 / 40	170 / 40
14	115 / 35	145 / 45	90 / 35	150 / 20	115 / 45	165 / 20
15	120 / 40	150 / 10	95 / 40	80 / 25	110 / 10	160 / 25
16	125 / 45	80 / 15	55 / 45	160 / 30	105 / 15	155 / 30
17	130 / 10	85 / 20	60 / 10	165 / 10	100 / 20	55 / 10
18	135 / 15	90 / 25	180 / 15	170 / 25	95 / 25	140 / 25
19	140 / 20	95 / 30	100 / 20	50 / 30	90 / 30	145 / 30
20	145 / 25	50 / 35	105 / 25	55 / 35	85 / 35	150 / 35
21	150 / 30	55 / 40	110 / 30	60 / 40	80 / 40	155 / 40
22	155 / 35	60 / 45	115 / 35	65 / 20	75 / 45	160 / 20
23	160 / 40	65 / 10	140 / 40	70 / 40	70 / 10	110 / 40
24	165 / 45	70 / 15	135 / 45	55 / 20	65 / 15	115 / 20
25	170 / 10	50 / 20	130 / 10	60 / 25	60 / 20	120 / 25
26	175 / 15	55 / 10	125 / 15	65 / 15	55 / 10	50 / 15
27	180 / 20	60 / 15	120 / 20	70 / 20	50 / 15	55 / 20

Курсовая работа оформляется в виде пояснительной записки и сдается преподавателю на проверку. Преподаватель, если есть замечания, возвращает курсовую работу обучающемуся на доработку и устранение недостатков.

Защита курсовой работы заключается в том, что обучающийся дает пояснения по существу сделанных изменений и отвечает на вопросы комиссии.

При оценке курсовой работы учитывается своевременность сдачи работы, правильность и аккуратность выполнения расчетов, а также результаты защиты.

Обучающиеся, не сдавшие курсовую работу или получившие на защите неудовлетворительные оценки, к экзамену не допускаются.

Дата выдачи задания «_____» _____ 20____ года

Задание выдал: преподаватель _____
(подпись)

Задание принял: обучающийся _____
(подпись)

СОДЕРЖАНИЕ

Введение	3
1. ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ	4
1.1. Автотранспортные системы доставки грузов	4
1.1.1. Понятие системы.....	4
1.1.2. Понятие об автотранспортной системе доставки грузов.....	5
1.1.3. Классификация автотранспортных систем доставки грузов и особенности их проектирования.....	5
1.2. Методика разработки маршрутов и составления графиков доставки грузов	11
1.2.1. Планирование перевозочного процесса.....	11
1.2.2. Моделирование транспортных сетей.....	14
1.2.3. Вычисление кратчайших расстояний.....	18
1.2.4. Составление плана перевозок для выполнения заказов.	20
1.2.5. Параметры маршрута перевозки грузов.....	28
1.2.6. Пример составления графика работы подвижного состава.....	32
1.3. Организация взаимодействия подвижного состава и погрузочно-разгрузочных машин и оборудования.....	36
2. ПРАКТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ.....	40
2.1. Рекомендации для выполнения курсовой работы по дисциплине «Основы проектирования автотранспортных систем доставки грузов».....	40
2.2. Рекомендации по организации занятий семинарского типа и самостоятельной работы обучающихся.....	41
2.3. Рекомендации по подготовке выпускной квалификационной работы.....	41
Библиографический список	42
ПРИЛОЖЕНИЯ.....	43
Приложение 1. Основные термины и определения.....	43
Приложение 2. Бланк задания для выполнения курсовой работы.....	46